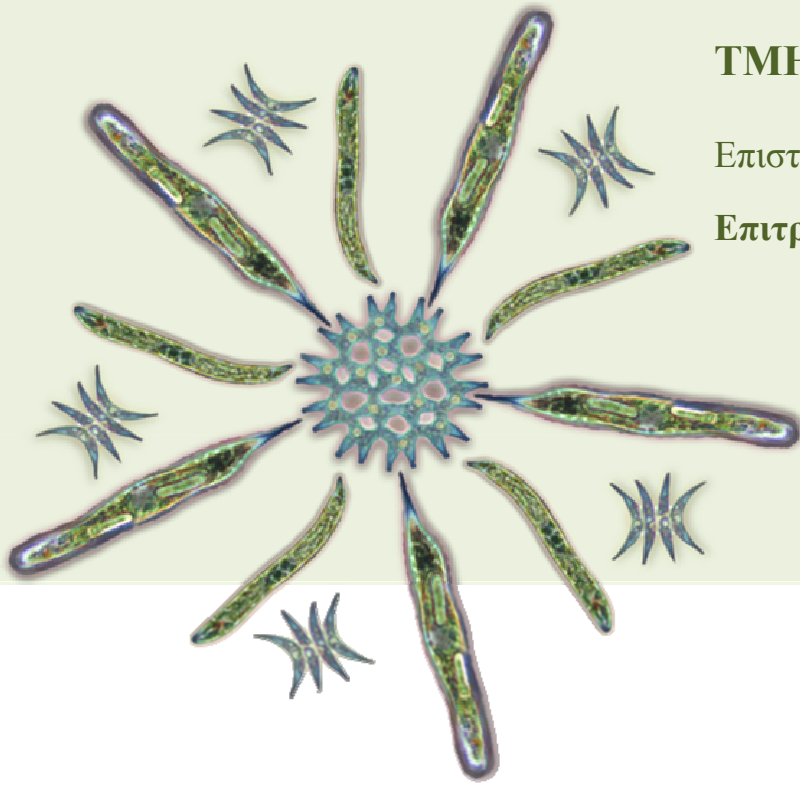


ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ

Επιστημονικώς Υπεύθυνη: Μαρία Μουστάκα

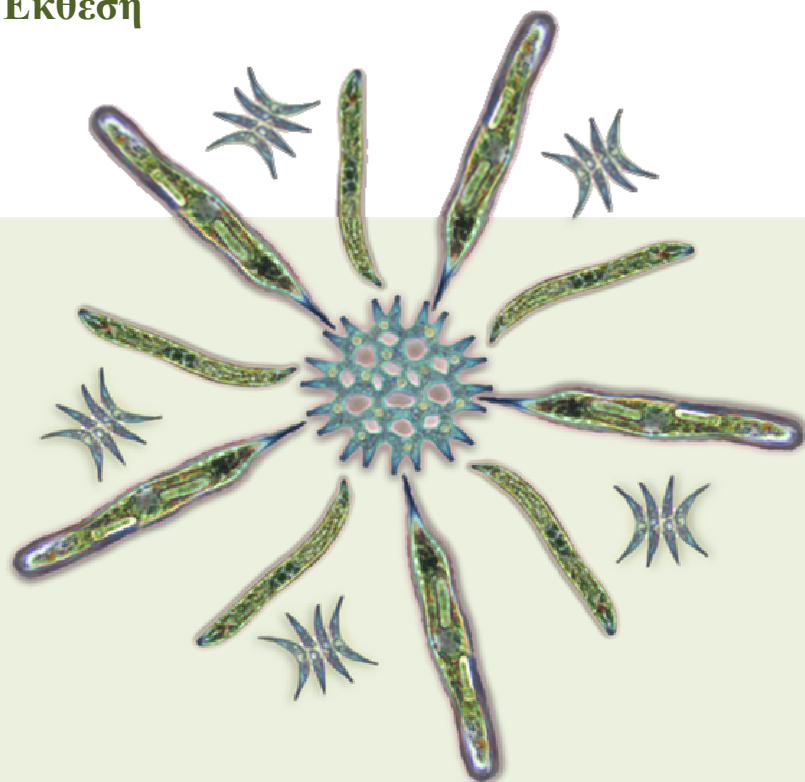
Επιτροπή Ερευνών: Ερευνητικό Έργο 85895



**Παρακολούθηση της Λίμνης Ισμαρίδας & Διερεύνηση
στοιχείων του τροφικού πλέγματος στο πλαίσιο των
δράσεων αποκατάστασης της λίμνης**

Τελική Έκθεση

Φορέας Χρηματοδότησης
Μουσείο Φυσικής Ιστορίας Γουλανδρή
Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων Υγροτόπων



ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ

Επιστημονικώς Υπεύθυνη: Μαρία Μουστάκα
Επιτροπή Ερευνών: Ερευνητικό Έργο 85895

**Παρακολούθηση της Λίμνης Ισμαρίδας και Διερεύνηση
στοιχείων του τροφικού πλέγματος στο πλαίσιο των
δράσεων αποκατάστασης της λίμνης**
Τελική Έκθεση

Φορέας Χρηματοδότησης:
Μουσείο Φυσικής Ιστορίας Γουλανδρή
Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων Υγροτόπων

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ
ΤΜΗΜΑ ΒΙΟΛΟΓΙΑΣ-ΤΟΜΕΑΣ ΒΟΤΑΝΙΚΗΣ

Επιστημονικώς Υπεύθυνη: Μαρία Μουστάκα

Επιτροπή Ερευνών: Ερευνητικό Έργο 85895

Φορέας Χρηματοδότησης:
Μουσείο Φυσικής Ιστορίας Γουλανδρή
Ελληνικό Κέντρο Βιοτόπων Υγροτόπων

Παρακολούθηση της Λίμνης Ισμαρίδας και διερεύνηση
στοιχείων του τροφικού πλέγματος στο πλαίσιο των
δράσεων αποκατάστασης της λίμνης

Τελική Έκθεση

Μαρία Μουστάκα, Αν Καθηγήτρια Βιολογίας
Ευαγγελία Μιχαλούδη, Λέκτορας Βιολογίας
Ματίνα Κατσιάπη, Υδροβιολόγος, Υπ. Διδάκτορας

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	2
1.1 Φυτοπλαγκτό-Γενικά	2
1.2 Το φυτοπλαγκτό στην Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά (2000/60/EK)	3
1.3 Ανθίσαις φυτοπλαγκτού και διαχείριση.....	4
1.4 Ζωοπλαγκτό-Γενικά	5
1.5 Ζωοπλαγκτό, Διαχείριση, Οδηγία 2000/60/EK.....	5
2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ-ΛΙΜΝΗ ΙΣΜΑΡΙΔΑ (ΜΗΤΡΙΚΟΥ)	7
3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ	12
3.1 Συχνότητα δειγματοληψιών.....	12
3.2 Επιλογή βαθών και σταθμών δειγματοληψίας	13
3.3 Δείγματα	16
3.4 Προσδιορισμός φυσικών και χημικών παραμέτρων	16
3.5 Προσδιορισμός χλωροφύλλης <i>a</i>	16
3.6 Μικροσκοπική ανάλυση φυτοπλαγκτού.....	17
3.7 Μικροσκοπική ανάλυση ζωοπλαγκτού	18
4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ.....	19
4.1 Φυσικές & χημικές παράμετροι.....	19
4.2 Χλωροφύλλη <i>a</i>	21
4.3 Σύνθεση ειδών φυτοπλαγκτού.....	22
4.4 Βιοόγκος φυτοπλαγκτού.....	29
4.5 Σύνθεση ειδών ζωοπλαγκτού	40
4.6 Αφθονία ζωοπλαγκτού	44
4.7 Βιομάζα ζωοπλαγκτού.....	48
5. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ	51
5.1 Καθορισμός συνθηκών αναφοράς για το φυτοπλαγκτό-Εισαγωγή.....	51
5.2 Η θεωρητική προσέγγιση για τον καθορισμό συνθηκών αναφοράς	51
5.3 Συνθήκες αναφοράς για τη Λίμνη Ισμαρίδα-Γενικά	58
5.4 Συνθήκες αναφοράς για τη Λίμνη Ισμαρίδα-Κανόνες & Οικολογικά κριτήρια	62
5.5 Καθορισμός ορίων κλάσεων ταξινόμησης της οικολογικής κατάστασης της λίμνης.....	68
5.6 Όρια οικολογικής κατάστασης της λίμνης	70
5.7 Ταξινόμηση της οικολογικής κατάστασης της λίμνης-Γενικά.....	71
5.8 Ταξινόμηση της οικολογικής κατάστασης της λίμνης-Δεδομένα & Μεθοδολογία.....	73
5.9 Ταξινόμηση της οικολογικής κατάστασης της λίμνης	74
6. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΤΟΥ ΤΡΟΦΙΚΟΥ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ ΤΗΣ ΛΙΜΝΗΣ.....	76
7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ	79
8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	81
8.1 Ελληνική.....	81
8.2 Διεθνής	81

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

1.1 Φυτοπλαγκτό–Γενικά

Οι μικροσκοπικοί οργανισμοί που λειτουργούν ως φυτά (κυανοβακτήρια και μικροφύκη) και έχουν προσαρμοστεί να ζουν σε αιώρηση στο νερό στις λίμνες και στις θάλασσες ενώ υπόκεινται σε παθητική μετακίνηση με τον άνεμο και τα ρεύματα, αποτελούν το φυτοπλαγκτό. Το μέγεθος των φυτοπλαγκτικών οργανισμών κυμαίνεται συνήθως από 0,2 έως 200 μm . Μερικές φορές οι αποικίες των οργανισμών αυτών ξεπερνούν το ένα χιλιοστό και γίνονται ορατές με γυμνό μάτι, όταν συσσωρεύονται στο νερό. Οι οργανισμοί αυτοί είναι μονοκύτταροι και έχουν πολύ μικρό χρόνο γενεάς που κυμαίνεται από μερικές ώρες έως λίγες ημέρες. Οι αλληλοσυσχετίσεις ανάμεσα στο χρόνο γενεάς που αντανakλά το ρυθμό αύξησης, το βέλτιστο εύρος στο φάσμα των περιβαλλοντικών παραγόντων και την ικανότητα των μικροοργανισμών για διαχείμαση, είναι θεμελιώδους σημασίας για την πλαγκτική παρουσία. Μέχρι σήμερα στις λίμνες έχουν αναγνωριστεί περισσότερα από 10000 είδη φυτοπλαγκτού.

Η εποχική εμφάνιση, η πληθυσμιακή αύξηση και η αλλαγή των επικρατούντων οργανισμών στο φυτοπλαγκτό μιας λίμνης εξαρτώνται από ποικίλες αλληλεπιδράσεις ανάμεσα στις διακυμάνσεις των περιβαλλοντικών παραγόντων και στις αποκρίσεις των ειδών. Μια ομάδα παραγόντων, οι οποίοι σχετίζονται με τη φωτοσυνθετική δραστηριότητα των οργανισμών, τις προτιμήσεις τους σε θρεπτικά, την ταχύτητα πρόσληψης των θρεπτικών στοιχείων, την αντίσταση στις απώλειες (από φυσικές διαταραχές και βιολογικό έλεγχο) και την κίνησή τους (καθένα από τα οποία επηρεάζεται από μορφολογικά γνωρίσματα), δρουν επιλεκτικά στα πιο ανταγωνιστικά είδη. Τοποθετώντας τους περιβαλλοντικούς αυτούς παράγοντες σε φθίνουσα τάξη σημαντικότητας ως προς τη δράση τους και την απόκριση των ειδών, πρώτοι έρχονται οι φυσικοί παράγοντες (όπως η θερμοκρασία, η ανάμειξη του νερού, ο χρόνος παραμονής του νερού και οι συνθήκες του φωτός μέσα στο νερό). Ακολουθούν οι χημικοί παράγοντες (όπως το περιβάλλον των ιόντων, η διαθεσιμότητα των θρεπτικών και οι σχετικές διαβαθμίσεις τους) και τέλος οι βιοτικοί παράγοντες (όπως η βόσκηση από το ζωοπλαγκτό και ο παρασιτισμός).

Η αλληλουχία των αλλαγών της φυτοπλαγκτικής κοινωνίας διαχρονικά αναπαριστά μια σειρά επιμέρους σταδίων που το καθένα χαρακτηρίζεται από την απόκριση της κοινωνίας στις μεταβολές του περιβάλλοντος. Ο ρυθμός με τον οποίο προχωρά αυτή η αλληλουχία εξαρτάται από το πόσο γρήγορα αλλάζουν οι περιβαλλοντικοί παράγοντες και πόσο γρήγορα αποκρίνονται στις αλλαγές αυτές οι φυτοπλαγκτικοί οργανισμοί. Έτσι οι μεταβολές της σύνθεσης και της σχετικής αφθονίας των ειδών ποικίλουν διαχρονικά. Μπορεί να είναι συχνές, σύντομης διάρκειας αναδιοργανώσεις της υπάρχουσας δομής της κοινωνίας ως απόκριση στην ανάμειξη του νερού. Μπορεί επίσης να είναι ετήσια επαναλαμβανόμενοι κύκλοι αλλαγής της σύνθεσης,

που συνοδεύουν τις κυκλικές διακυμάνσεις στο φωτισμό, τη θερμοκρασία και την κατακόρυφη διαφοροποίηση της στήλης νερού μέχρι και πιο μόνιμες χλωριδικές αλλαγές μετά από λιμνολογικές μεταβολές (όπως στη μορφολογία, στις υδρολογικές συνθήκες και στα φορτία θρεπτικών στη λίμνη).

Οι διακυμάνσεις στην αφθονία και τη σύνθεση των ειδών του φυτοπλαγκτού που συμβαίνουν σε μία λίμνη σε περίοδο ενός έτους, κανονικά επαναλαμβάνονται σε μεγάλο βαθμό και το επόμενο έτος. Αυτές οι κυκλικές διακυμάνσεις αποτελούν ένα από τα πιο χαρακτηριστικά γνωρίσματα του φυτοπλαγκτού στα γλυκά νερά. Συχνά η βιομάζα φθάνει το μέγιστο και πέφτει στο ελάχιστο την ίδια περίπου περίοδο σε διαδοχικά έτη. Επίσης τα ίδια είδη επικρατούν με την ίδια περίπου συχνότητα, ενώ το καθένα αυξάνει και ελαττώνεται σε ένα δικό του ετήσιο κύκλο. Ο ακριβής χρόνος των φαινομένων αυτών μπορεί να ποικίλει από έτος σε έτος και οι εμφανίσεις των ειδών μπορεί να μεταβάλλονται έτσι ώστε τα επικρατούντα είδη, σε ένα δεδομένο χρονικό διάστημα, να μην είναι πάντοτε τα ίδια. Είναι μεγάλης σημασίας το γεγονός ότι οι ετήσιοι κύκλοι των διακυμάνσεων της φυτοπλαγκτικής βιομάζας και η ακολουθία της αντιπροσώπευσης των αθροισμάτων συχνά επαναλαμβάνονται σε λίμνες γεωγραφικά απομακρυσμένες, που όμως έχουν παρόμοια μορφολογικά και κλιματικά γνωρίσματα και κοινές χημικές ιδιότητες.

Μεταβολές στη σύνθεση και αφθονία του φυτοπλαγκτού παρατηρούνται και στο χώρο. Οι αποκρίσεις των φυτοπλαγκτικών οργανισμών στην περιβαλλοντική ετερογένεια του οριζόντιου επιπέδου της λίμνης ποικίλουν ανάλογα με την έκταση της ετερογένειας, τη χρονική διάρκεια και τα επικρατούντα πρότυπα κυκλοφορίας στη λίμνη. Ασυνέχειες στην οριζόντια κατανομή του φυτοπλαγκτού παρατηρούνται συχνά σε μεγάλες λίμνες και σε φραγμαλισμένες ενώ σε μικρότερες απαντώνται μόνο για σύντομες περιόδους εκτός κι αν υδρο-μορφολογικά ή άλλα χαρακτηριστικά ευνοούν την ετερογένεια στην κατανομή περιβαλλοντικών παραγόντων. Η κατανομή του κάθε είδους του φυτοπλαγκτού ποικίλει με το βάθος, το χρόνο και τη φυσική κατάσταση της στήλης νερού. Διαβαθμίσεις στις συνθήκες φωτός και στις συγκεντρώσεις των θρεπτικών στοιχείων παρατηρούνται με τη μεταβολή του βάθους. Κάτω από τέτοιες συνθήκες φυσικό είναι να αναμένονται ασυνέχειες στην κατακόρυφη κατανομή του φυτοπλαγκτού. Οι ασυνέχειες αυτές διατηρούνται για ώρες ή και για μέρες.

1.2 Το φυτοπλαγκτό στην Οδηγία Πλαίσιο για τα Νερά (2000/60/EK)

Το φυτοπλαγκτό είναι η πρώτη βιοκοινότητα (βιολογικό στοιχείο στην Οδηγία) που αποκρίνεται στις πιέσεις λόγω ευτροφισμού και φυσικών διαταραχών. Η χρήση των ειδών ή ανώτερων ταξινομικών μονάδων φυτοπλαγκτού για την εκτίμηση της ποιότητας του νερού έχει μεγάλη ιστορία τα τελευταία πενήντα χρόνια. Όμως υπάρχουν ακόμη δυσκολίες στις γενικεύσεις

και αυτό συνδέεται με τη δυναμική της διαδοχής του φυτοπλαγκτού. Σήμερα αναγνωρίζουμε ότι η σύγχρονη ανάπτυξη της οικολογίας φυτοπλαγκτού και οι απαιτήσεις της Οδηγίας επικαλύπτονται καθόσον η Οδηγία απαιτεί λειτουργική ομαδοποίηση των οργανισμών τέτοια που να αντιστοιχεί στην οικολογική κατάσταση και να χρησιμοποιηθεί για την εκτίμησή της.

Σύμφωνα με το Παράρτημα V της Οδηγίας τα χαρακτηριστικά του ποιοτικού στοιχείου του φυτοπλαγκτού που θα πρέπει να είναι γνωστά για κάθε υδάτινο σώμα για την εκτίμηση της οικολογικής του κατάστασης είναι: η σύνθεση των ειδών και ομάδων, η αφθονία και ο βιοόγκος του φυτοπλαγκτού και τέλος η συχνότητα, διάρκεια και ένταση των ανθίσεων φυτοπλαγκτού. Στα κείμενα των ομάδων εργασίας (για συνθήκες αναφοράς, διαβαθμονόμηση και ταξινόμηση) η υποβάθμιση της οικολογικής κατάστασης συνδέεται με αύξηση της αφθονίας φυτοπλαγκτού, με αύξηση της ποσοστιαίας συμμετοχής των κυανοβακτηρίων στο συνολικό βιοόγκο φυτοπλαγκτού καθώς και με συχνότερες και εντονότερες ανθίσεις φυτοπλαγκτού. Η κρίσιμη οικολογική κατάσταση της κατηγορίας «μέτρια» προσδιορίζεται σύμφωνα με την Οδηγία ως ακολούθως «... **Διαρκείς ανθίσεις φυτοπλαγκτού μπορεί να παρατηρηθούν κατά τους θερινούς μήνες**».

1.3 Ανθίσεις φυτοπλαγκτού και διαχείριση

Ο όρος «άνθιση» φυτοπλαγκτού στα υδάτινα οικοσυστήματα χρησιμοποιείται για να εκφράσει τον χρωματισμό του νερού εξαιτίας της υψηλής συγκέντρωσης φυτοπλαγκτικών οργανισμών λόγω των χρωστικών που περιέχουν. Ο χρωματισμός αυτός μπορεί να είναι πράσινος, καφετί, κόκκινος (με όλες τις ενδιάμεσες αποχρώσεις) ανάλογα με τις φωτοσυνθετικές χρωστικές που περιέχουν οι οργανισμοί που επικρατούν. Στην πραγματικότητα πρόκειται για πληθυσμιακή αύξηση ενός ή περισσότερων ειδών ταυτόχρονα ή σε διάρκεια χρόνου πάνω από τα «φυσιολογικά» επίπεδα μιας περιοχής. Στο φαινόμενο της άνθισης παρατηρείται μετατόπιση της μεταβολής της αφθονίας ενός είδους (dN/dt) από τιμές γύρω στο μηδέν ή αρνητικές σε τιμές θετικές. Για να είναι μακροσκοπικά ορατό το φαινόμενο της άνθισης η αφθονία ορισμένων ειδών (μεγάλου μεγέθους: 50-200 μm) πρέπει να υπερβεί τα 100 κύτταρα στο mL ενώ άλλων (μικρού μεγέθους: 1-50 μm) τουλάχιστον τα 1000 κύτταρα στο mL. Αν και η άνθιση του φυτοπλαγκτού είναι φυσικό φαινόμενο, γνωστό εδώ και 3000 χρόνια - εκτιμάται ότι η πρώτη γραπτή αναφορά είναι στη Βίβλο (Εξοδος Κεφάλαιο Z: 20-21) - τις τελευταίες δεκαετίες έχει αυξηθεί σε συχνότητα και ένταση. Προϋπόθεση για να συμβεί άνθιση του φυτοπλαγκτού είναι η διαθεσιμότητα των θρεπτικών και φωτός (παράγοντες αύξησης) αλλά και για να προκύψει θετική μεταβολή αφθονίας θα πρέπει οι απώλειες (από βόσκηση, παρασιτισμό, υδραυλική απομάκρυνση) να είναι μικρότερες από την αύξηση.

Τεράστιο ενδιαφέρον παρατηρείται παγκοσμίως για εφαρμογές που μπορούν να πετύχουν παρεμπόδιση ή μείωση της αύξησης του φυτοπλαγκτού (άνθισης) και των κυανοβακτηρίων ιδιαίτερα στους εύτροφους ταμιευτήρες πόσιμου νερού. Η παγκόσμια τάση σήμερα είναι η βιώσιμη διαχείριση των λιμνών (με σκοπό τη μείωση της βιομάζας του φυτοπλαγκτού, τον έλεγχο των ανθίσεων), διαχείριση που στηρίζεται στην προβλεψιμότητα φαινομένων άνθισης του φυτοπλαγκτού, γεγονός που προϋποθέτει επαρκή και κατάλληλα δεδομένα μεγάλων χρονοσειρών. Η αναίρεση των αιτιών αύξησης του φυτοπλαγκτού είναι το πρώτο και βασικό βήμα. Οι φυσικές διαταραχές για παράδειγμα επιδρούν άμεσα στην κοινωνία του φυτοπλαγκτού και στην άνθισή του (π.χ. βιοόγκο φυτοπλαγκτού, στρατηγικές αύξησης των πλαγκτικών οργανισμών, επικράτηση ή μη επιβλαβών οργανισμών στην άνθιση) και μπορούν να αποτελέσουν εργαλεία διαχείρισης της άνθισης.

1.4 Ζωοπλαγκτό-Γενικά

Το ζωοπλαγκτό περιλαμβάνει μικροσκοπικούς οργανισμούς όπως τα πρωτόζωα (πρωτοζωοπλαγκτό), τα τροχόζωα, τα κλαδοκερωτά και τα κωπήποδα, οι οποίοι τρέφονται με βακτήρια, φυτοπλαγκτό, θρύμματα αλλά και άλλους ζωοπλαγκτικούς οργανισμούς. Αποτελεί ένα σημαντικό ενδιάμεσο κρίκο του τροφικού πλέγματος στα υδάτινα οικοσυστήματα, καθώς συντελεί στη μεταφορά της βιομάζας των πρωτογενών παραγωγών στους ανώτερους οργανισμούς και κυρίως στα ψάρια. Επίσης, συνεισφέρει σημαντικά στην ανακύκλωση των θρεπτικών αλάτων τα οποία μετά την αποβολή τους από τους οργανισμούς του ζωοπλαγκτού εισέρχονται ξανά στον κύκλο της πρωτογενούς παραγωγής.

Οι κύριοι παράγοντες που επηρεάζουν τους οργανισμούς του ζωοπλαγκτού και διαμορφώνουν τη ζωοπλαγκτική κοινωνία σε ένα υδάτινο οικοσύστημα είναι η θερμοκρασία, η τροφή και η θήρευση. Όπως και στην περίπτωση του φυτοπλαγκτού, έτσι και το ζωοπλαγκτό παρουσιάζει εποχικότητα και διαδοχή όσον αφορά τη σύνθεση και αφθονία των ειδών του. Μάλιστα, οι αλλαγές που συμβαίνουν δεν είναι τυχαίες αλλά υπάρχει εποχική εξέλιξη που είναι προβλέψιμο επακόλουθο προηγούμενων γεγονότων.

1.5 Ζωοπλαγκτό, Διαχείριση, Οδηγία 2000/60/EK

Το ζωοπλαγκτό εξαιτίας της θέσης του στο τροφικό πλέγμα των υδάτινων οικοσυστημάτων (οι μικροσκοπικοί ζωικοί οργανισμοί του αποτελούν τους καταναλωτές του φυτοπλαγκτού, ενώ παράλληλα οι ίδιοι καταναλώνονται από τα ψάρια) αποτελεί παράγοντα κλειδί για τη διαχείρισή τους. Γενικά, για τη διαχείριση σε επίπεδο τροφικού πλέγματος έχουν διατυπωθεί δύο θεωρίες: Η πρώτη θεωρία, «έλεγχος από τη βάση προς την κορυφή» (bottom-up), αναφέρει ότι ο καθοριστικός παράγοντας στον έλεγχο του τροφικού πλέγματος είναι η

διαθεσιμότητα των θρεπτικών, η οποία καθορίζει τη βιομάζα του φυτοπλαγκτού που με τη σειρά του καθορίζει την αφθονία του ζωοπλαγκτού κ.ο.κ. Η δεύτερη θεωρία, «έλεγχος από την κορυφή προς τη βάση» (top-down), αναφέρει ότι η θήρευση από τα ιχθυοφάγα ψάρια επηρεάζει σημαντικά τους πλαγκτοφάγους οργανισμούς που με τη σειρά τους ελέγχουν το ζωοπλαγκτό κ.ο.κ. Οι δύο θεωρίες ερμηνεύουν τις διακυμάνσεις ή μια της άλλης, ενώ οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των δύο θεωριών αλλάζουν με την τροφική κατάσταση της λίμνης.

Η σύνθεση ειδών και ομάδων του ζωοπλαγκτού καθώς και η αφθονία και η βιομάζα τους αν και μπορούν να στηρίξουν εκτίμηση της τροφικής κατάστασης μιας λίμνης εν τούτοις δεν συμπεριλαμβάνονται στην Οδηγία 2000/60/EK για την εκτίμηση της οικολογικής κατάστασης. Βέβαια, έχουν γίνει προσπάθειες από τη διεθνή επιστημονική κοινότητα τουλάχιστον σε σχέση με το φυτοπλαγκτό να χρησιμοποιηθούν στην εκτίμηση της οικολογικής κατάστασης ενός μεγάλου αριθμού τύπων λιμνών (ECOFRAME, Moss et al. 2003). Ωστόσο, θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη και μάλιστα σε περιπτώσεις που δεν υπάρχουν ικανοποιητικά δεδομένα για τα ψάρια μιας λίμνης, καθώς μπορεί να αποτελέσει τη βάση για μια πρώτη εκτίμηση της θηρευτικής πίεσης.

2. ΠΕΡΙΟΧΗ ΕΡΕΥΝΑΣ-ΛΙΜΝΗ ΙΣΜΑΡΙΔΑ (ΜΗΤΡΙΚΟΥ)

Η Λίμνη Ισμαρίδα ή αλλιώς Μητρικού είναι η μοναδική φυσική λίμνη γλυκού νερού στην περιοχή της Θράκης. Βρίσκεται στη βορειοανατολική Ελλάδα, στα νότια του νομού Ροδόπης και σε απόσταση 28 χλμ νοτιοδυτικά από την πόλη της Κομοτηνής. Απέχει περίπου 3 χλμ από τη θάλασσα και «συνδέεται» με αυτή τεχνητά μέσω ενός καναλιού στο νότιο άκρο της λίμνης. Το κανάλι αυτό δεν είναι ανοιχτό αλλά υπάρχει φράγμα, η λειτουργία του οποίου ελέγχεται από το συνεταιρισμό των ψαράδων Μαρώνειας. Από τα βόρεια η λίμνη τροφοδοτείται από τον Βοσβόζη ποταμό (μήκος 40 χλμ). Στα ανατολικά της λίμνης περνάει ο ποταμός Λίσσος (ή Φιλιούρης). Νοτιοδυτικά της λίμνης κοντά στις ακτές, υπάρχει ένας σημαντικός αριθμός από λίμνοθάλασσες μεγάλης οικολογικής σημασίας από τις οποίες οι πέντε μεγαλύτερες είναι η Καρατζά, η Αλυκή, η Ξηρολίμνη, η Πτελεά και το Έλος (Εικόνα 1).



Εικόνα 1: Η Λίμνη Ισμαρίδα και οι γειτονικές λίμνοθάλασσες (Google Earth, 2011)

Η επιφάνεια της λίμνης είναι περίπου 3,4 τετρ. χλμ. και το μέσο βάθος της περίπου 1 μέτρο. Μεγάλη έκταση της λίμνης είναι καλυμμένη από καλαμώνες (Εικόνα 2) (κυρίως στο βορειοανατολικό μέρος) και από το υδρόβιο βλάστηση που περιλαμβάνει κυρίως το είδος *Trapa natans* (τριβολοκρατέλα) (Εικόνα 3). Είναι γνωστό ότι μεγάλο μέρος της λίμνης κατά περιόδους καλύπτεται από νούφαρα (*Nymphaea alba*) ενώ κατά τόπους επιπλέει η «φακή» του νερού (*Lemna minor*) (www.fd-nestosvistonis.gr/site).



Εικόνα 2: Καλαμώνες στη Λίμνη Ισμαρίδα



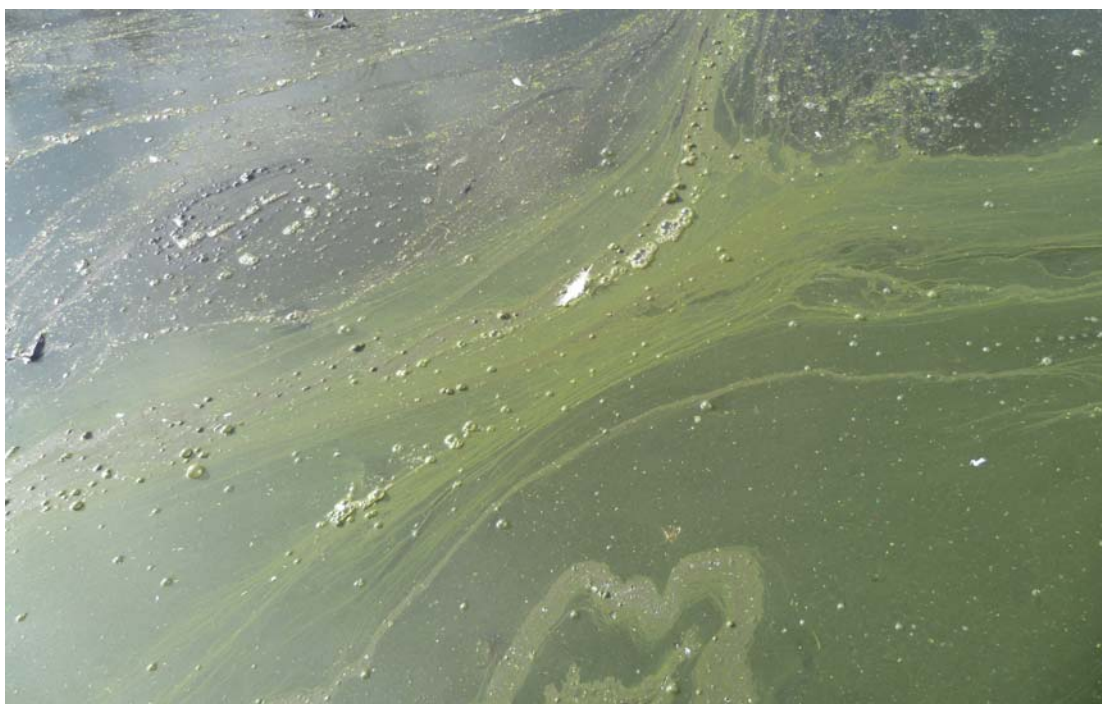
Εικόνα 3: Το είδος *Trapa natans* όπως φαίνεται στην επιφάνεια της Λίμνης Ισμαρίδας

Όμως, σύμφωνα με πρόσφατες συζητήσεις με τον πρόεδρο του Φορέα Διαχείρισης Δέλτα Νέστου Βιστωνίδας Ισμαρίδας κ. Μάνο Κουτράκη, τα νούφαρα έχουν εξαφανιστεί από τη λίμνη τον τελευταίο χρόνο. Η οικολογική αυτή διαταραχή πιθανόν συνδέεται με μεταβολές στην αλατότητα καθώς και με την υπερβολική αύξηση των κυανοβακτηρίων στη λίμνη (αντικείμενο έρευνας αυτού του ερευνητικού έργου). Η επιτόπια εξέταση από την ερευνητική μας ομάδα

επιβεβαίωσε αυτήν την απουσία νούφαρων στη λίμνη και την κυριαρχία κυανοβακτηρίων αφού η μεγάλη τους αφθονία έδινε στη λίμνη τη χαρακτηριστική εικόνα άνθισης νερού (Εικόνα 4). Ακόμη, χαρακτηριστικές ήταν οι εικόνες έντονης αποικοδόμησης στο νερό της λίμνης στο φαινόμενο της άνθισης (Εικόνα 5).



Εικόνα 4: Εικόνα άνθισης φυτοπλαγκτού στη Λίμνη Ισμαρίδα



Εικόνα 5: Εικόνα αποικοδόμησης σε φαινόμενο άνθισης φυτοπλαγκτού στη Λίμνη Ισμαρίδα

Η Λίμνη Ισμαρίδα μαζί με τη γειτονική Λίμνη Βιστωνίδα ανήκουν στο Εθνικό πάρκο του Δέλτα του ποταμού Νέστου (Κ.Υ.Α 44549, Φ.Ε.Κ. 497/Δ/17-10-2008) και το δίκτυο ειδικών ζωνών διατήρησης ΦΥΣΗ 2000 και προστατεύονται από τη συνθήκη Ραμσάρ. Η Ισμαρίδα αποτελεί υδροβιότοπο μεγάλης σημασίας (εξάπλωσης και αναπαραγωγής) για πολλά είδη πουλιών (αναπαραγόμενα, διαβατικά και διαχειμάζοντα παρυδάτια, και είδη που αναπαράγονται σε καλαμώνες). Μόνο στην περιοχή της λίμνης έχουν καταγραφεί πάνω από 200 είδη πουλιών ανάμεσά τους και είδη παγκοσμίου ενδιαφέροντος όπως τα *Branta ruficollis*, *Oxyura leucocephala*, *Haliaeetus albicilla*, *Aquila heliaca*, *Falco naumanni*, *Larus audouinii*. Συνολικά, στην περιοχή ξεχειμωνιάζουν γύρω στα 20.000 είδη πουλιών σε τακτική βάση όπως τα *Tadorna tadorna*, *Anas penelope*, *Anas crecca*, *Anas platyrhynchos*, *Recurvirostra avosetta* και *Larus ridibundus* (www.ornithologiki.gr).

Τα κυριότερα είδη ψαριών που απαντούν στη λίμνη είναι ο κέφαλος (*Leuciscus cephalus*), το χέλι (*Anguilla anguilla*), το γριβάδι (*Cyprinus caprio*) και η πεταλούδα σύμφωνα με τις μαρτυρίες των ψαράδων της περιοχής (προσωπική επικοινωνία με αλιείς του Αλιευτικού Αγροτικού Συνεταιρισμού Μαρώνειας).

Η λίμνη χρησιμοποιείται κυρίως για αλεία και για άρδευση των καλλιεργειών στη γύρω περιοχή. Η κύρια απασχόληση των κατοίκων της περιοχής είναι η γεωργία (βαμβάκι, καλαμπόκι) και η κτηνοτροφία.

Η έρευνα που έγινε για την πρώτη αναγνωριστική έκθεση του έργου και αφορά σε δημοσιεύσεις σε διεθνή επιστημονικά περιοδικά για τη Λίμνη Ισμαρίδα έδειξε ότι υπάρχει σχεδόν απουσία ερευνητικών δεδομένων για τη λίμνη. Με αναζήτηση μέσω των πιο έγκυρων μηχανών αναζήτησης του Web of Knowledge (περιοδικά του SCI) και Scopus και χρησιμοποιώντας ως λέξεις «κλειδιά» Ismarida Lake και Mitrikou Lake η αναζήτηση έδωσε ως αποτέλεσμα μόνο τις 2 παρακάτω εργασίες και 2 περιλήψεις ανακοινώσεων σε συνέδρια:

Pavlikakis GE, Tsihrintzis VA (2003) Integrating humans in ecosystem management using multi-criteria decision making. Journal of the American Water Resources Association: 277-288.

Pisinaras V, Petalas C, Tsihrintzis VA, Zagana E (2007) A groundwater flow model for water resources management in the Ismarida plain, North Greece. Environmental Modelling and Assessment 12: 75-89.

Andreopoulou ZS, Kokkinakis AK (2009) Technological changes affecting the fisheries in Ismarida lake using production models. 6th International Conference on the Management of Technological Changes, 03-05/09/2009 Alexandroupolis GREECE.

Pavlikakis GE, Tsihrintzis VA (2001) Environmental quality indicator for the nestos Delta-Lakes Vistonida and Ismarida National Park. 7th International Conference on Environmental Science and Technology, 03-06/09/2001 Ermoupolis GREECE.

Σύμφωνα με τις παραπάνω εργασίες, οι κύριες πιέσεις στην περιοχή είναι η υπεράντληση των υπόγειων υδάτων για άρδευση, οι ολοένα αυξανόμενες ανάγκες για νερό που προορίζεται για τις καλλιέργειες, η μετατροπή δασικών εκτάσεων σε καλλιεργούμενη γη, η κατασκευή φραγμάτων για υδροηλεκτρική ενέργεια και η εντατική χρήση λιπασμάτων και εντομοκτόνων στις καλλιέργειες που υποβαθμίζουν την ποιότητα του νερού της περιοχής (Pavlikakis & Tsihrintzis 2003) και του υδροφόρου ορίζοντα της περιοχής (Pisinaras et al. 2007).

Η λεκάνη της Λίμνης Ισμαρίδας βρίσκεται σε υψόμετρο +2.6 έως +21 m και συνδέεται υδραυλικά με τον ποταμό Βοσβόζη. Η ετήσια κατακρήμνιση στο σταθμό Σιδηροχωρίου κυμάνθηκε κατά την περίοδο 1966-1999 από 270 - 876 mm. Σύμφωνα με σενάρια στηριζόμενα σε μαθηματικά μοντέλα από τους Pisinaras et al. (2007) υπάρχει δραματική πτώση των επιπέδων των υπόγειων νερών και για το λόγο αυτό προτείνεται μείωση κατά 33% της απομάκρυνσης νερού.

Η Λίμνη Ισμαρίδα παρουσιάζει διακυμάνσεις στη στάθμη νερού και ως εκτούτου στο βάθος, την έκταση και τον όγκο που καταλαμβάνει. Αποτελεί μέρος μιας μεγαλύτερης λίμνης που υπήρχε στο παρελθόν. Η ευρύτερη περιοχή της λίμνης αποτελείται γεωλογικά από κλαστικά δελταϊκά ιζήματα του Τεταρτογενούς ή νεώτερης ηλικίας. Τα υπόγεια νερά στην περιοχή της Ισμαρίδας έχουν επηρεαστεί από τη χρήση γεωργικών λιπασμάτων. Ακόμη στα νερά του ποταμού Βοσβόζη που τροφοδοτεί την Ισμαρίδα με νερό μετρήθηκαν υψηλές συγκεντρώσεις μετάλλων όπως κάδμιο, μόλυβδος και ψευδάργυρος. Σύμφωνα με τους ίδιους ερευνητές (Pisinaras et al. 2007) η Ισμαρίδα δέχεται αυξημένα φορτία θρεπτικών φωσφόρου και αζώτου και χαρακτηρίζεται υπέρτροφη. Επιπλέον, τα νερά της λίμνης διαφοροποιούνται ως προς την κατανομή του διαλυμένου οξυγόνου. Αυτή η κατάσταση στην Ισμαρίδα συνδέεται με την έκπλυση των γεωργικών εκτάσεων και την προκύπτουσα είσοδο των θρεπτικών στη λίμνη καθώς και με την είσοδο στη λίμνη ανεπεξέργαστων ή μερικώς επεξεργασμένων αστικών λυμάτων της Κομοτηνής μέσω του ποταμού Βοσβόζη.

Σύμφωνα με τους Andreopoulou & Kokkinakis (2009) για τα τρία πιο κοινά εμπορικά ψάρια της λίμνης (κέφαλος, χέλι και γριβάδι) υπήρξε υποβάθμιση και μείωση της ιχθυοπαραγωγής κατά την εικοσαετία 1980-2000. Επίσης, εκτιμήθηκε ότι και μελλοντικά οι συνθήκες στη λίμνη δεν θα είναι ευνοϊκές για την ιχθυοπαραγωγή.

3. ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ

3.1 Συχνότητα δειγματοληψιών

Με βάση το χρόνο γενεάς των φυτοπλαγκτικών οργανισμών η κατάλληλη συχνότητα δειγματοληψίας για την παρακολούθηση των χρονικών μεταβολών του φυτοπλαγκτού είναι η εβδομαδιαία (διπλάσια του μέσου χρόνου γενεάς). Μια τέτοια συχνότητα βέβαια σημαίνει 52 δειγματοληψίες ετησίως και ως εκ τούτου δεν είναι εφικτή αυτή η παρακολούθηση. Για το λόγο αυτό απαραίτητη είναι η λήψη αντιπροσωπευτικών δειγμάτων φυτοπλαγκτού τουλάχιστον την περίοδο της έντονης αύξησης και συχνών φαινομένων άνθισης φυτοπλαγκτού που παρατηρούνται την περίοδο καλοκαίρι-φθινόπωρο. Σύμφωνα με την Οδηγία η συχνότητα των δειγματοληψιών θα μπορούσε να είναι και εποχική ή δύο φορές το χρόνο, ενώ σύμφωνα με την άσκηση διαβαθμονόμησης για τις Μεσογειακές φραγμαλίνες αρκούν 2-4 δειγματοληψίες στην περίοδο Ιούνιος-Σεπτέμβριος.

Οι οικολογικές ομάδες φυτοπλαγκτού που χαρακτηρίζουν μία λίμνη παρατηρούνται στα τελευταία στάδια διαδοχής του φυτοπλαγκτού (καλοκαίρι-φθινόπωρο). Η φάση του τελευταίου σταδίου διαδοχής του φυτοπλαγκτού, παρουσιάζει την πολυπλοκότητα της κοινωνίας με την ωρίμανση της στη διάρκεια του έτους αρκεί οι φυσικές διαταραχές να μην αποτρέψουν την πορεία της διαδοχής. Είναι η φάση που προκύπτει από την αυτογενή ακολουθία αλλαγής στην επικράτηση του φυτοπλαγκτού στα προηγούμενα στάδια διαδοχής και εμπεριέχει τη μεγαλύτερη και πληρέστερη πληροφορία. Ως εκ τούτου προκύπτει ότι η περίοδος δειγματοληψίας πρέπει να καλύπτει το χρονικό διάστημα καλοκαίρι-φθινόπωρο, αν και μπορεί ακόμη και μία δειγματοληψία μέσα σε αυτό το χρονικό διάστημα να μας δώσει την καλύτερη δυνατή εκτίμηση της οικολογικής κατάστασης της λίμνης.

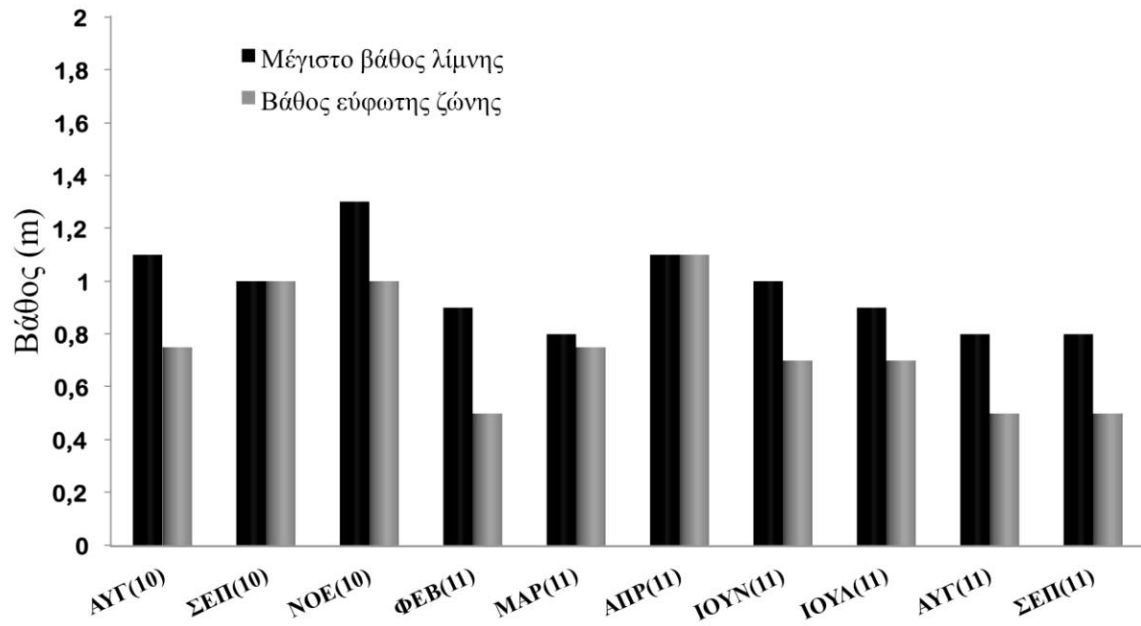
Η παρακολούθηση της φυτοπλαγκτικής κοινωνίας στη Λίμνη Ισμαρίδα το 2010 ξεκίνησε στην πιο κατάλληλη περίοδο (θερμή). Πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες τον Αύγουστο και Σεπτέμβριο, ενώ πραγματοποιήθηκε και μία μέσα στο Νοέμβριο καθώς η θερμοκρασία παρέμεινε υψηλή ($>20^{\circ}\text{C}$) μέχρι και τα μέσα αυτού του μήνα. Την περίοδο αυτή θεωρήσαμε **κατάλληλο «παράθυρο» χρόνου** για τις κατάλληλες παραμέτρους μέτρησης του φυτοπλαγκτού. Επίσης, πραγματοποιήθηκαν δειγματοληψίες τους μήνες Φεβρουάριο, Μάρτιο και Απρίλιο το 2011. Οι δειγματοληψίες που πραγματοποιήσαμε στη λίμνη για το 2010 καλύπτουν και τις υποχρεώσεις σύμφωνα με την Οδηγία ευρύτερα, τις υποχρεώσεις σύμφωνα με τη διαβαθμονόμηση αλλά και την επιστημονική προσέγγιση της οικολογίας φυτοπλαγκτού. Οι δειγματοληψίες συνεχίστηκαν και το καλοκαίρι του 2011 έως το Σεπτέμβριο καθώς η Λίμνη Ισμαρίδα είναι εντελώς άγνωστη ως προς το φυτοπλαγκτό και γενικότερα τη λειτουργία της

(τροφικό πλέγμα). Παράλληλα με τις δειγματοληψίες του φυτοπλαγκτού πραγματοποιήθηκαν και οι δειγματοληψίες του ζωοπλαγκτού .

3.2 Επιλογή σταθμών και βαθών δειγματοληψίας

Η Λίμνη Ισμαρίδα είναι μια ιδιαίτερα ρηχή λίμνη με ελεγχόμενη απορροή από θυρόφραγμα που βρίσκεται σε σημείο του καναλιού που οδηγεί στη θάλασσα. Έτσι, ανάλογα με τη διαχείριση του θυροφράγματος το βάθος της μπορεί να παρουσιάζει σημαντικές διακυμάνσεις κατά τη διάρκεια του έτους. Την περίοδο δειγματοληψιών το μέγιστο βάθος της λίμνης (Εικ. 1) παρουσίασε τιμές από 0,80 έως 1,30 m. Μετά την πρώτη δειγματοληψία που πραγματοποιήθηκε σε ένα δίκτυο σταθμών για να προσδιοριστούν οι κατάλληλες θέσεις (open water) για το φυτοπλαγκτό διότι δεν υπήρχαν δεδομένα για σχεδιασμό εκ των προτέρων, επιλέχθηκαν οι εξής σταθμοί με βάση τις ιδιαιτερότητες της λίμνης: 1. Σταθμός 1 (ST1) (κεντρικός σταθμός) στο βαθύτερο σημείο της λίμνης 2. Σταθμός 2 (ST2) (σημείο εισροών) κοντά στην είσοδο του ποταμού Βοσβόζη στη λίμνη 3. Σταθμός 3 (ST3) στο σημείο που το νερό της λίμνης παρουσιάζει το μεγαλύτερο σχετικά χρόνο παραμονής λόγω περιορισμένης ανανέωσης νερού με τη θάλασσα 4. Σταθμός 4 (ST4) (σημείο απορροής) στην αρχή του καναλιού εξόδου του νερού της λίμνης προς τη θάλασσα με τη μεγαλύτερη ταχύτητα ανανέωσης νερού και 5. Σταθμός 5 (ST5) επικουρικά ένας σταθμός κοντά στα καλάμια για σύγκριση με τον κεντρικό σταθμό (Εικ. 2). Οι δειγματοληψίες ζωοπλαγκτού και χλωροφύλλης πραγματοποιήθηκαν στον κεντρικό σταθμό ST1 ταυτόχρονα με του φυτοπλαγκτού.

Η επιλογή των βαθών δειγματοληψίας στηρίζεται στην κατανομή του φωτός μέσα στο νερό και στη θερμική δομή του νερού. Ως κατώτατο σημείο δειγματοληψίας στη στήλη του νερού χρησιμοποιείται συχνά το όριο της εύφωτης ζώνης (το βάθος που φτάνει το 1% της έντασης του προσπίπτοντος φωτός στην επιφάνεια). Η ομάδα διαβαθμονόμησης έχει προτείνει και χρησιμοποιήσει την εύφωτη ζώνη για τη δειγματοληψία ενός ολοκληρωμένου δείγματος στήλης νερού στις λίμνες. Στην παρούσα έρευνα, για τη λίμνη το βάθος της εύφωτης ζώνης εκτιμήθηκε με βάση τις μετρήσεις της διαφάνειας του νερού στο βαθύτερο σημείο της λίμνης (ST1) από 0, 5 έως 1,1 m (Εικ. 1). Ωστόσο, λόγω του πολύ μικρού βάθους δεν έγινε επιλογή βαθών και λήφθηκαν δείγματα απ όλη τη στήλη νερού.



Εικόνα 1: Μέγιστο βάθος και προβλεπόμενο βάθος εύφωτης ζώνης (στο βαθύτερο σημείο της λίμνης) στη Λίμνη Ισμαρίδα κατά την περίοδο έρευνας



Εικόνα 2: Χάρτης της Λίμνης Ισμαρίδας όπου φαίνονται οι σταθμοί δειγματοληψίας (Google Earth, 2011)

3.3 Δείγματα

Για τις δειγματοληψίες φυτοπλαγκτού και ζωοπλαγκτού χρησιμοποιήθηκε δειγματολήπτης τύπου Niskin και χωρητικότητας 2 L. Σε κάθε δειγματοληψία για την ποιοτική και ποσοτική ανάλυση του φυτοπλαγκτού από κάθε δείγμα νερού, χρησιμοποιήθηκε υποδείγμα 200 mL. Επιπλέον χρησιμοποιήθηκε δίχτυ διαμέτρου πόρων 20 μm για τη συλλογή δείγματος για την ποιοτική ανάλυσή του. Μέρος των δειγμάτων αυτών διατηρήθηκε ζωντανό και το υπόλοιπο αφού διαχωρίστηκε σε δύο υποδείγματα στερεώθηκε με φορμόλη (το ένα υποδείγμα) και Lugol (το δεύτερο υποδείγμα).

Για την ποιοτική ανάλυση του ζωοπλαγκτού συλλέχθηκαν δείγματα νερού με τη χρήση διχτύων με διάμετρο πόρου 50 μm και 100 μm . Τα δίχτυα τοποθετούνταν μέσα στο νερό και ανασύρονταν στην επιφάνεια με κάθετες και οριζόντιες σύρσεις. Μέρος των δειγμάτων αυτών διατηρήθηκε ζωντανό και το υπόλοιπο συντηρήθηκε με την προσθήκη φορμόλης. Για την ποσοτική ανάλυση του ζωοπλαγκτού λήφθηκαν δείγματα με τη χρήση του δειγματολήπτη τα οποία διηθήθηκαν από δίχτυ με διάμετρο πόρου 50 μm . Ο συνολικός όγκος του νερού που διηθούνταν ήταν τουλάχιστον 30 L. Τα δείγματα συντηρήθηκαν αμέσως σε διάλυμα φορμόλης έτσι ώστε η τελική συγκέντρωση να είναι 4%.

3.4 Προσδιορισμός φυσικών & χημικών παραμέτρων

Για τον προσδιορισμό των φυσικών και χημικών παραμέτρων χρησιμοποιήθηκαν: ι) φορητά πολυόργανα για τις παραμέτρους θερμοκρασία νερού, pH, αγωγιμότητα, οξυγόνο και ιι) μέθοδοι ανάλυσης θρεπτικών της American Public Health Association (APHA).

3.5 Προσδιορισμός χλωροφύλλης *a*

Ο προσδιορισμός της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης *a* στα δείγματα νερού που συλλέχθηκαν από τον κεντρικό σταθμό πραγματοποιήθηκε με τη μέθοδο Jeffrey & Humphrey (1975). Δείγματα όγκου 300-1200 mL διηθήθηκαν μέσω ηθμών Whatman GF/F (διάμετρος πόρου 20 μm) με τη βοήθεια αντλίας κενού υπό χαμηλή πίεση. Οι ηθμοί τοποθετήθηκαν σε ειδικά πλαστικά σωληνάκια, σε κατάψυξη στους $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ μέχρι τη χημική τους ανάλυση. Η εκχύλιση της χλωροφύλλης *a* από τους ηθμούς πραγματοποιήθηκε σε υδατικό διάλυμα ακετόνης 90% (v/v) στους $4\text{ }^{\circ}\text{C}$ στο σκοτάδι. Το εκχύλισμα στη συνέχεια φυγοκεντρήθηκε στις 4.000 rpm για 10 min. Η συγκέντρωση της χλωροφύλλης *a* προσδιορίστηκε φασματοφωτομετρικά με βάση την οπτική απορρόφηση του εκχυλίσματος σε μήκη κύματος 630, 647 και 664 nm και υπολογίστηκε σε $\mu\text{g L}^{-1}$ με βάση την εξίσωση των Jeffrey & Humphrey (1975).

3.6 Μικροσκοπική ανάλυση του φυτοπλαγκτού

Για τη μικροσκοπική ανάλυση του φυτοπλαγκτού, υπο-δείγματα νερού τοποθετήθηκαν σε θαλάμους καθίζησης (κυλινδρικοί θάλαμοι με βάση διαφανή διαμέτρου 26 mm και πάχος <0.2 mm και με ύψος μεταβαλλόμενο ανάλογα με τη χωρητικότητα) μεγάλης ακριβείας όσον αφορά τον όγκο του δείγματος που περιέχουν. Χρησιμοποιήθηκαν θάλαμοι καθίζησης 2 και 10 mL του οίκου Hydrobios λόγω της μεγάλης πυκνότητας των οργανισμών του φυτοπλαγκτού στο κάθε δείγμα για την καταμέτρηση στο ανάστροφο μικροσκόπιο.

3.6.1 Σύνθεση ειδών

Η σύνθεση των ειδών προκύπτει μετά από την ολοκλήρωση μιας χρονοβόρας και εξειδικευμένης ερευνητικής προσπάθειας αναγνώρισης των ειδών με τη μικροσκοπική ανάλυση του φυτοπλαγκτού και τη χρήση κατάλληλων συγγραμμάτων και εργασιών ταξινομικού χαρακτήρα. Η ταξινομική ανάλυση των δειγμάτων είναι η υψηλότερη δυνατή αφού πραγματοποιήθηκε σε επίπεδο είδους με βάση τις κατάλληλες ταξινομικές κλείδες σε ερευνητικό ανάστροφο μικροσκόπιο Nikon TE2000-S. Η αναγνώριση έγινε σε ζωντανό υλικό ενώ η παρατήρηση σε υλικό στερεωμένο με φορμόλη και διάλυμα Lugol είχε συμπληρωματικό χαρακτήρα. Για την ασφαλέστερη αναγνώριση των ειδών ήταν απαραίτητη η χρήση τεχνικής αντίθεσης φάσης καθώς και της μικροσκοπίας φθορισμού. Η φωτογράφιση των οργανισμών έγινε στο ερευνητικό ανάστροφο μικροσκόπιο Nikon TE2000-S με κάμερα Nikon DS-L1.

3.6.2 Αφθονία

Για τη μέτρηση της αφθονίας φυτοπλαγκτού ακολουθήθηκε η κλασική μεθοδολογία του ανάστροφου μικροσκοπίου (Utermöhl 1958) με τροποποιήσεις βελτίωσης. Η μέθοδος αυτή έχει προταθεί και εφαρμόζεται από την ομάδα διαβαθμονόμησης. Η μέθοδος αφορά στην καταμέτρηση των φυτοπλαγκτικών ατόμων (κύτταρο, κοινόβιο, αποικία, νήμα). Στη συγκεκριμένη περίπτωση για τη στατιστικά αποδεκτή εκτίμηση της πληθυσμιακής πυκνότητας των πλαγκτικών ειδών στο δείγμα, καταμετρήθηκαν 100 τουλάχιστον άτομα από τα πιο άφθονα είδη και συνολικά τουλάχιστον 400 άτομα (με μέγιστο σφάλμα μέτρησης $<20\%$ για το κάθε είδος και $<10\%$ για τη συνολική αφθονία).

3.6.3 Βιομάζα-Βιοόγκος

Για τη μετατροπή της πληθυσμιακής πυκνότητας (αφθονίας) των ειδών φυτοπλαγκτού σε βιοόγκο υπολογίστηκαν οι μέσοι κυτταρικοί όγκοι των οργανισμών μετά από μετρήσεις των διαστάσεων των κυττάρων τους. Η μέτρηση των διαστάσεων πραγματοποιήθηκε στο ερευνητικό ανάστροφο μικροσκόπιο Nikon TE2000-S με τη βοήθεια της κάμερας Nikon DS-L1 και μετά

από βαθμονόμηση με μικρομετρική κλίμακα ακρίβειας. Για τον υπολογισμό των κυτταρικών όγκων χρησιμοποιήθηκαν κατάλληλοι γεωμετρικοί τύποι. Η μετατροπή των βιοόγκων σε βιομάζα γίνεται με βάση το ότι η μέση ειδική πυκνότητα του κυττάρου για το φυτοπλαγκτό είναι 1 g cm^{-3} . Όμως, η μετατροπή αυτή δεν απαιτείται για τις ανάγκες της οδηγίας καθόσον στις ομάδες διαβαθμονόμησης επιλέχθηκε ο βιοόγκος του φυτοπλαγκτού

3.7 Μικροσκοπική ανάλυση του ζωοπλαγκτού

3.7.1 Σύνθεση ειδών

Η ταξινομική ανάλυση των δειγμάτων είναι η υψηλότερη δυνατή αφού πραγματοποιήθηκε σε επίπεδο είδους-όπου αυτό ήταν δυνατό-με βάση τις κατάλληλες ταξινομικές κλείδες σε οπτικό μικροσκόπιο LEITZ LABORLUXS WETZLAR. Η αναγνώριση έγινε σε ζωντανό υλικό, ενώ η παρατήρηση σε υλικό στερεωμένο με φορμόλη είχε συμπληρωματικό χαρακτήρα. Η φωτογράφιση των οργανισμών έγινε με ενσωματωμένη στο μικροσκόπιο κάμερα Leica Wild MPS32.

3.7.2 Αφθονία

Για τον υπολογισμό της αφθονίας, κάθε δείγμα, ανάλογα με την πυκνότητά του, αραιώθηκε με προσθήκη φορμόλης 4% ή συμπυκνώθηκε με διήθηση από δίχτυ 50 μm , έτσι ώστε ο τελικός όγκος να είναι 50 ή 100 mL. Στη συνέχεια 1 mL από το ομογενοποιημένο δείγμα, τοποθετήθηκε σε θάλαμο αρίθμησης τύπου Sedwick-Rafter και έγινε η καταμέτρηση των οργανισμών στο οπτικό μικροσκόπιο. Η διαδικασία αυτή επαναλήφθηκε 4-5 φορές, με τον αριθμό των ατόμων στους θαλάμους να μη διαφέρει πάνω από 20%, ενώ ο συνολικός αριθμός των μετρημένων ατόμων για κάθε δείγμα ήταν τουλάχιστον 300 άτομα (Bottrell et al. 1976).

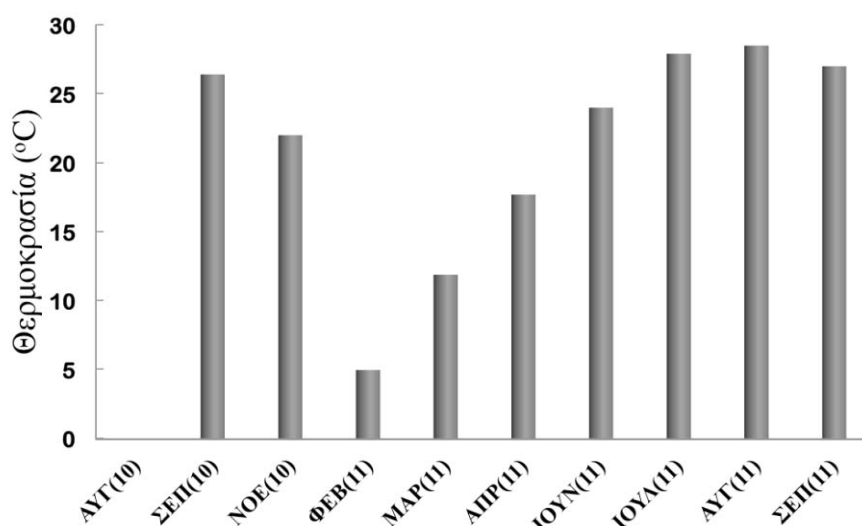
3.7.3 Βιομάζα

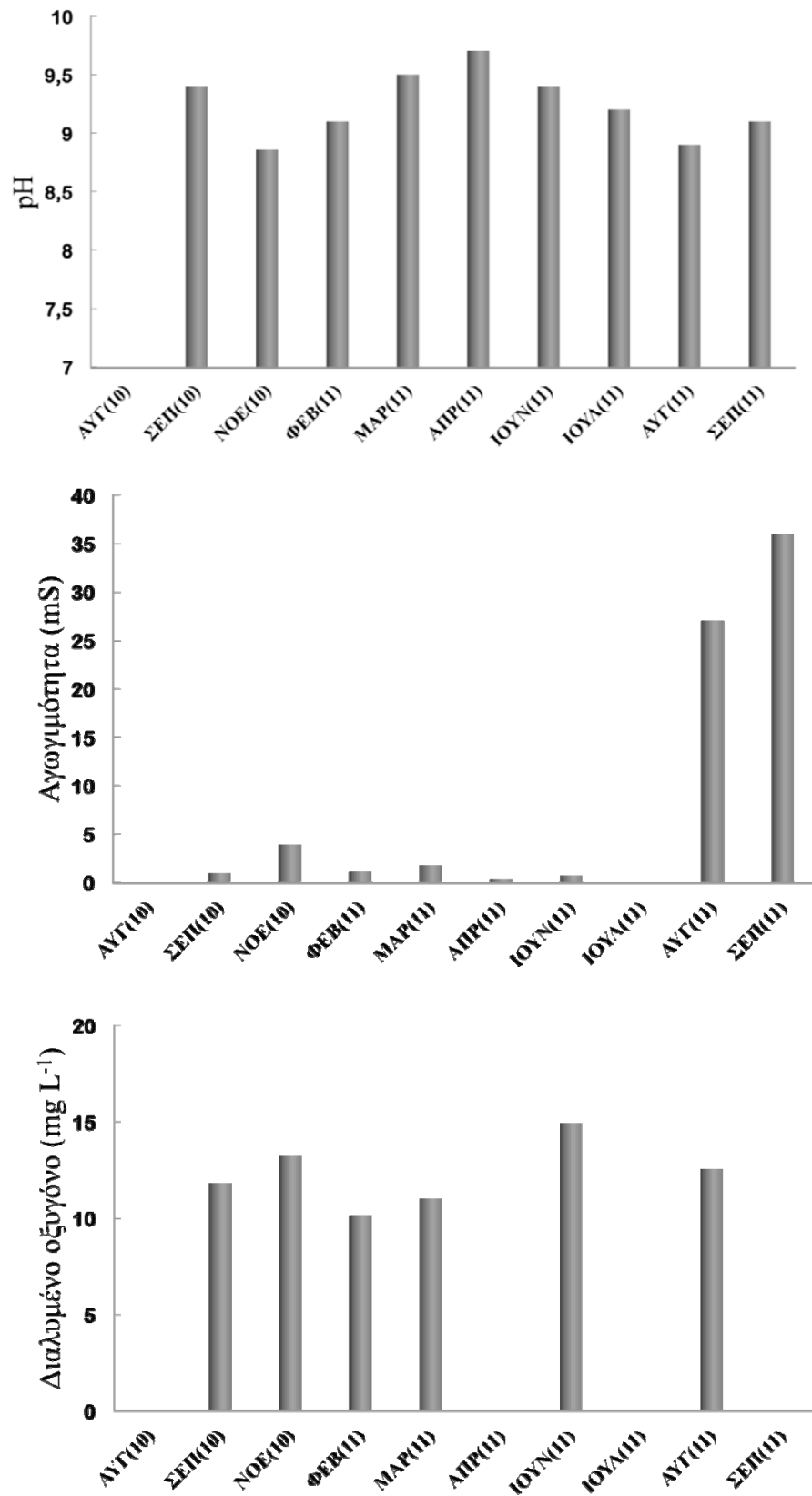
Για τον υπολογισμό της βιομάζας ($\mu\text{g L}^{-1}$) των τροχοζώων, των κλαδοκερωτών και των κωπηπόδων χρησιμοποιήθηκαν ατομικά ξηρά βάρη από τη βιβλιογραφία (Ζαρφτζιάν 1989, Michaloudi 2005). Στη συνέχεια, το βάρος κάθε ζωοπλαγκτικού οργανισμού πολλαπλασιάστηκε με την αφθονία του και έτσι προέκυψε η βιομάζα του.

4. ΑΠΟΤΕΛΕΣΜΑΤΑ

4.1 Φυσικές & χημικές παράμετροι (θερμοκρασία, pH, αγωγιμότητα, διαλυμένο O_2 , άζωτο νιτρωδών, νιτρικών και αμμωνιακών αλάτων, φώσφορος ορθοφωσφορικών ιόντων)

Στην Εικόνα 1 παρουσιάζονται οι τιμές της θερμοκρασίας του νερού, του pH, της αγωγιμότητας και του διαλυμένου οξυγόνου (στα πρώτα 20 cm από την επιφάνεια) που μετρήθηκαν στο σταθμό ST1 κατά την περίοδο Αύγουστος, Σεπτέμβριος, Νοέμβριος 2010 και Φεβρουάριος-Απρίλιος, Ιούνιος-Σεπτέμβριος 2011. Η θερμοκρασία νερού ακολούθησε το πρότυπο της εποχής (δηλαδή μείωση μετά το τέλος της θερμής περιόδου και αύξηση από τον Μάρτιο). Το pH ήταν σχετικά υψηλό (>8) με ιδιαίτερα υψηλές τιμές ($>9,5$) τους μήνες Μάρτιο και Απρίλιο 2011. Η αγωγιμότητα, η οποία αποτελεί μέτρο για την αλατότητα και σχετίζεται άμεσα με τις εισροές στη λίμνη και την επικοινωνία της λίμνης με τη θάλασσα, ήταν σχετικά υψηλή το Νοέμβριο του 2010 (~ 4 mS), την άνοιξη (Μάρτιος, Απρίλιος 2011) παρουσίασε πτωτική τάση και στη συνέχεια καταγράφηκαν πολύ υψηλές τιμές (>25 mS) τον Αύγουστο και το Σεπτέμβριο του 2011. Ειδικά το Σεπτέμβριο του 2011 η αγωγιμότητα ήταν παρόμοια με αυτή του θαλασσινού νερού, καθώς την περίοδο αυτή ήταν για μεγάλο διάστημα ανοιχτό το κανάλι που συνδέει τη λίμνη με τη θάλασσα με αποτέλεσμα την είσοδο θαλασσινού νερού. Η συγκέντρωση του διαλυμένου οξυγόνου στα πρώτα 20 cm από την επιφάνεια (για τους μήνες που έγιναν μετρήσεις) κυμάνθηκε σε υψηλά επίπεδα από 10 έως $14,9 \text{ mg L}^{-1}$, με υψηλότερη τιμή τον Ιούνιο του 2011.





Εικόνα 1: Τιμές θερμοκρασίας νερού(°C), pH, αγωγιμότητας (mS) και διαλυμένου οξυγόνου (mg L⁻¹) στο σταθμό ST1 στη Λίμνη Ισμαρίδα κατά τους μήνες Αύγουστο, Σεπτέμβριο και Νοέμβριο 2010 και Φεβρουάριο-Απρίλιο, Ιούνιο-Σεπτέμβριο 2011 (*η έλλειψη τιμών στις διάφορες παραμέτρους σε κάποιους μήνες οφείλεται σε μη σωστή λειτουργία του οργάνου)

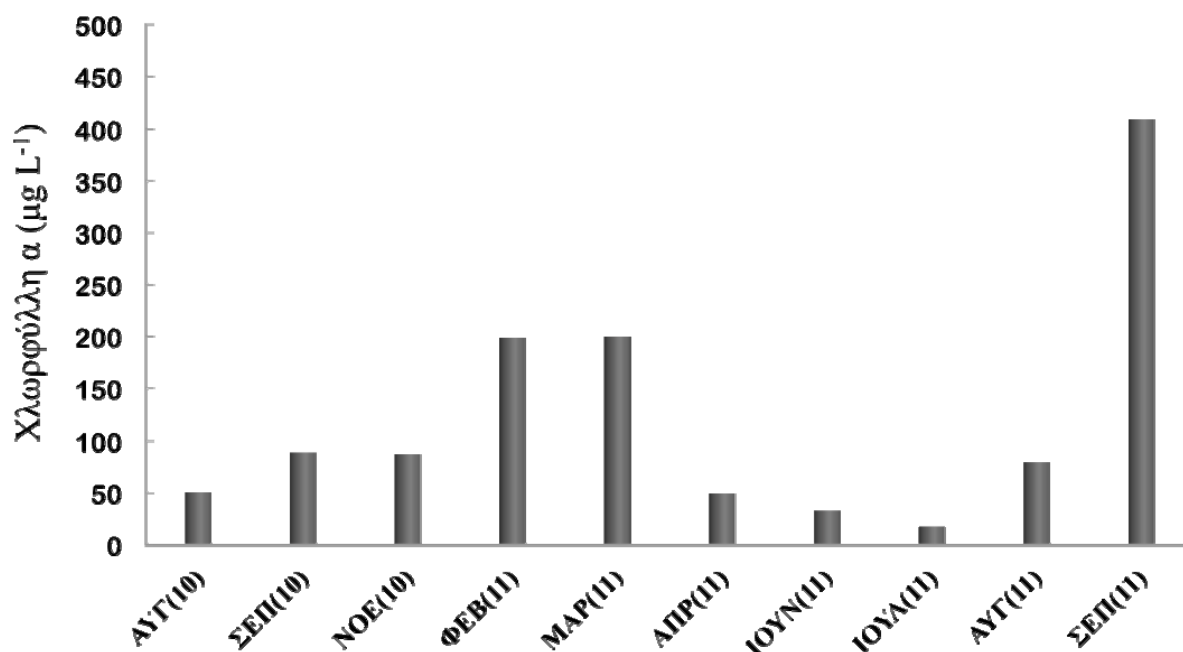
Πίνακας 1: Συγκέντρωση (mg L^{-1}) αζώτου αμμωνιακών, νιτρωδών, νιτρικών αλάτων και φωσφόρου φωσφορικών ιόντων στο σταθμό ST1 στη Λίμνη Ισμαρίδα κατά τους μήνες Αύγουστο, Σεπτέμβριο και Νοέμβριο 2010 και Φεβρουάριο-Απρίλιο, Ιούνιο-Σεπτέμβριο 2011 (*η έλλειψη τιμών σε κάποιους μήνες οφείλεται σε αδυναμία προσδιορισμού κατά την εφαρμογή της μεθόδου)

Ημερομηνία	NH_4	NO_2	NO_3	PO_4
Αύγουστος 2010	0,045	0,005	0,015	0,091
Σεπτέμβριος 2010	-	-	-	0,059
Νοέμβριος 2010	0,023	0,009	0,169	0,052
Φεβρουάριος 2011	0,048	0,014	0,345	0,052
Μάρτιος 2011	0,053	0,006	0,063	0,052
Απρίλιος 2011	0,037	0,024	0,148	0,073
Ιούνιος 2011	-	-	-	0,130
Ιούλιος 2011	-	-	-	0,126
Αύγουστος 2011	0,068	0,005	0,023	0,287
Σεπτέμβριος 2011	0,412	0,005	0,113	0,190

Η συγκέντρωση του αζώτου των αμμωνιακών ιόντων κυμάνθηκε σε υψηλά επίπεδα από 0,023 έως 0,412 mg L^{-1} . Η συγκέντρωση των νιτρωδών και νιτρικών ιόντων κυμάνθηκε από 0,005 έως 0,024 mg L^{-1} και 0,015 έως 0,345 mg L^{-1} αντίστοιχα. Η συγκέντρωση του φωσφόρου των ορθοφωσφορικών ιόντων κυμάνθηκε σε υψηλά επίπεδα από 0,052 έως 0,190 mg L^{-1} , χαρακτηριστικά υπερεύτροφων λιμνών.

4.2 Χλωροφύλλη α

Στην Εικόνα 2 παρουσιάζονται οι τιμές συγκέντρωσης της χλωροφύλλης α στο σταθμό ST1 (βαθύτερο σημείο της λίμνης) στη Λίμνη Ισμαρίδα κατά τους μήνες Αύγουστος, Σεπτέμβριος και Νοέμβριος 2010 και τους μήνες Φεβρουάριος-Απρίλιος, Ιούνιος-Σεπτέμβριος 2011. Οι τιμές συγκέντρωσης της χλωροφύλλης α ήταν ιδιαίτερα υψηλές και κυμάνθηκαν από 17,6 (Ιούλιος 2011) έως 408,8 $\mu\text{g L}^{-1}$ (Σεπτέμβριος 2011) χαρακτηριστικές εύτροφων-υπερεύτροφων λιμνών.



Εικόνα 2: Τιμές συγκέντρωσης της χλωροφύλλης α ($\mu\text{g L}^{-1}$) στο σταθμό ST1 στη Λίμνη Ισμαρίδα κατά τους μήνες Αύγουστο, Σεπτέμβριο και Νοέμβριο 2010 και Φεβρουάριο-Απρίλιο, Ιούνιο-Σεπτέμβριο 2011

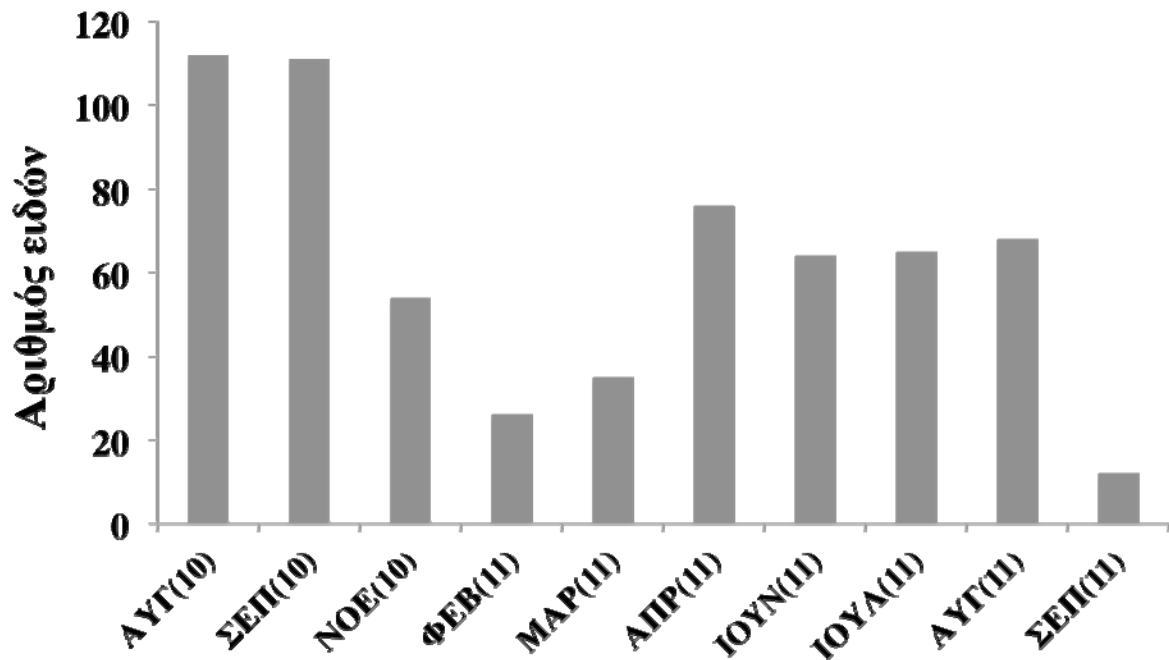
4.3 Σύνθεση ειδών φυτοπλαγκτού

4.3.1 Κατάλογος και παρουσία ειδών στη Λίμνη Ισμαρίδα

Στον Πίνακα 1 δίνεται ο κατάλογος των ειδών που αναγνωρίστηκαν στα δείγματα φυτοπλαγκτού στην εύρωτη ζώνη της στήλης νερού στους σταθμούς δειγματοληψίας τους μήνες Αύγουστος, Σεπτέμβριος και Νοέμβριος 2010 και Φεβρουάριος-Απρίλιος, Ιούνιος-Σεπτέμβριος 2011.

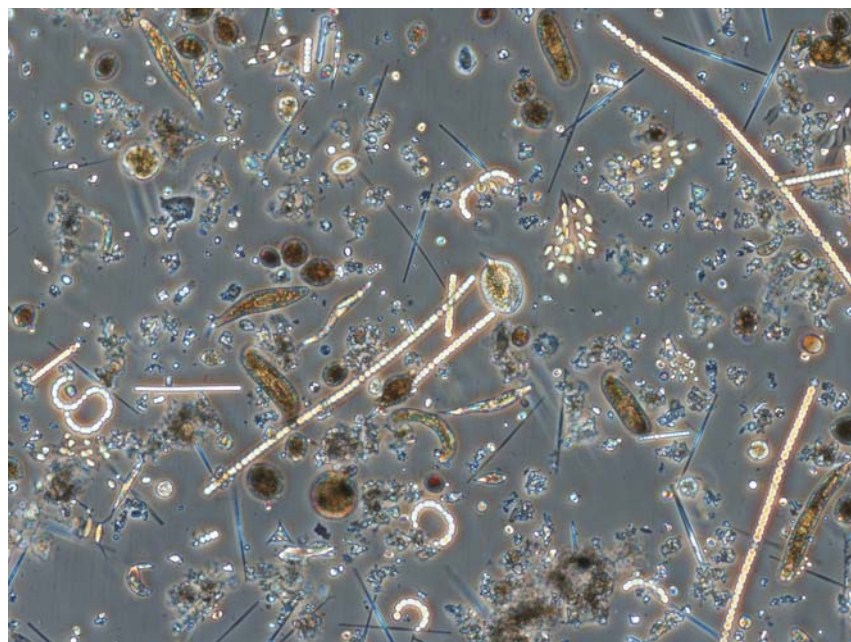
Συνολικά 186 taxa φυτοπλαγκτού καταγράφηκαν στη λίμνη στους παραπάνω σταθμούς. Ο αριθμός αυτός είναι μικρότερος από τον συνολικό διότι υπάρχουν πάντοτε ορισμένα είδη με πολύ μικρό αριθμό ατόμων που περνούν απαρατήρητα διότι βρίσκονται σε πληθυσμιακή πυκνότητα κάτω από το όριο ανίχνευσης. Επιπλέον, η απουσία ενός είδους σε ορισμένα χρονικά διαστήματα μπορεί να οφείλεται στην πτώση της πληθυσμιακής πυκνότητας κάτω από το όριο ανίχνευσης της μεθόδου καταμέτρησης. Ιδιαίτερα μεγάλος αριθμός ειδών (112 και 111) σε κάθε λίτρο νερού από τη λίμνη καταγράφηκε στο σύνολο των σταθμών τους μήνες Αύγουστο και Σεπτέμβριο του 2010, ενώ ο αριθμός αυτός μειώθηκε περίπου στο μισό (54) το Νοέμβριο. Ο αριθμός ειδών ήταν χαμηλός και το Φεβρουάριο του 2011 (26 είδη), ενώ στη συνέχεια κατά τη μετάβαση προς την άνοιξη- από το Μάρτιο προς τον Απρίλιο -άρχισε να αυξάνεται ο αριθμός των ειδών στα επίπεδα που φαίνονται στην Εικ. 3, ενώ μέχρι και τον Αύγουστο παρουσίασε μικρές αυξομειώσεις. Ο μικρότερος αριθμός ειδών, με αντιπροσώπους κυρίως είδη

χαρακτηριστικά υφάλμυρων συστημάτων, καταγράφηκε το Σεπτέμβριο του 2011 (12 είδη). Διαφορές παρουσιάστηκαν και στον αριθμό των ειδών που καταγράφηκαν ανάμεσα στους σταθμούς, χωρίς όμως μεγάλες διαφορές.

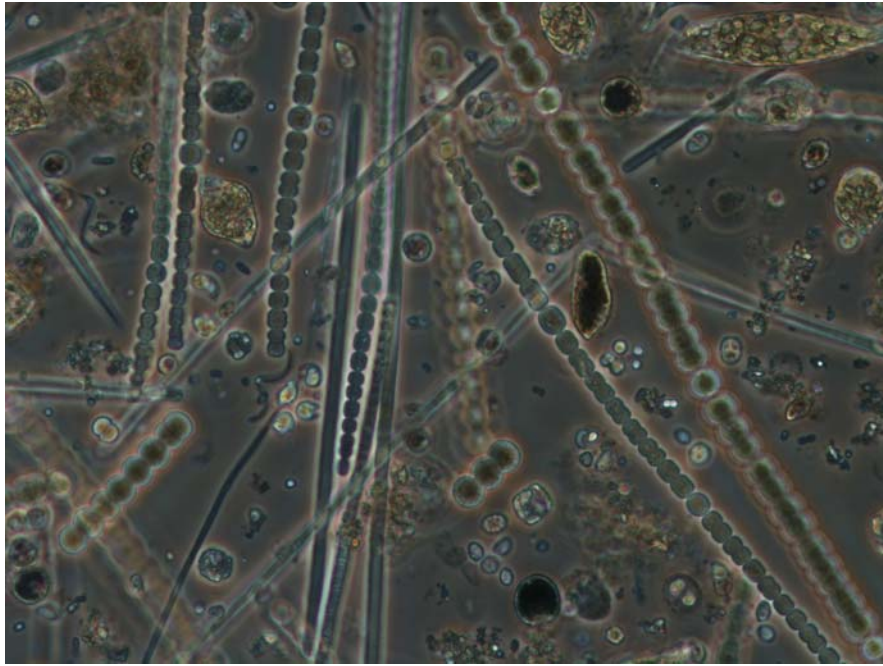


Εικόνα 3: Αριθμός ειδών που καταγράφηκαν στο σύνολο των σταθμών στη Λίμνη Ισμαρίδα κατά την περίοδο έρευνας

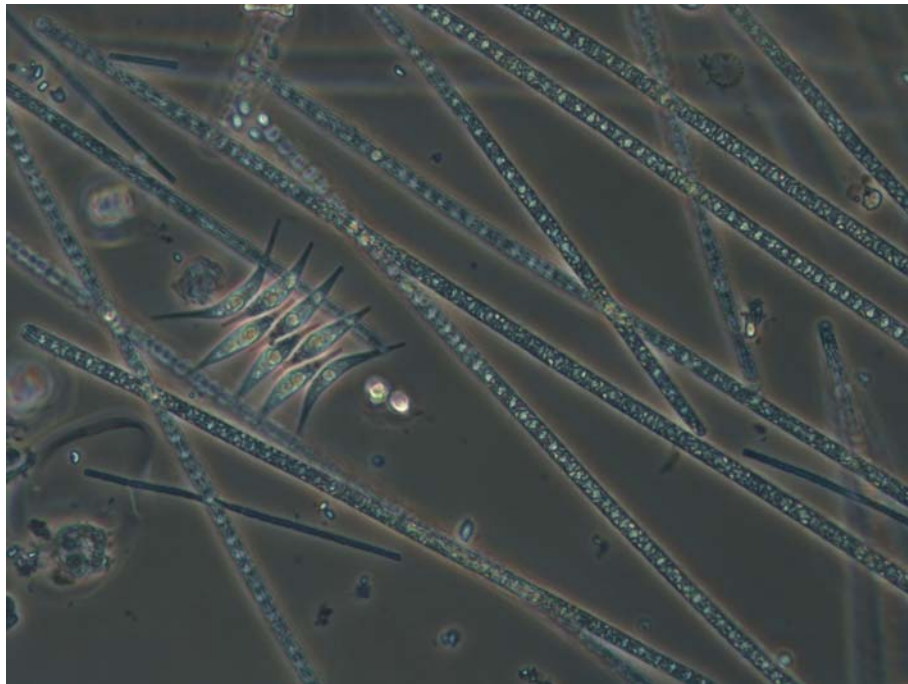
Η μεγάλη αρχικά ποικιλότητα ειδών λιμναίου φυτοπλαγκτού αποτυπώνεται και στις μικροφωτογραφίες του υλικού (Εικ. 4, 5, 6, 7, 8, 9).



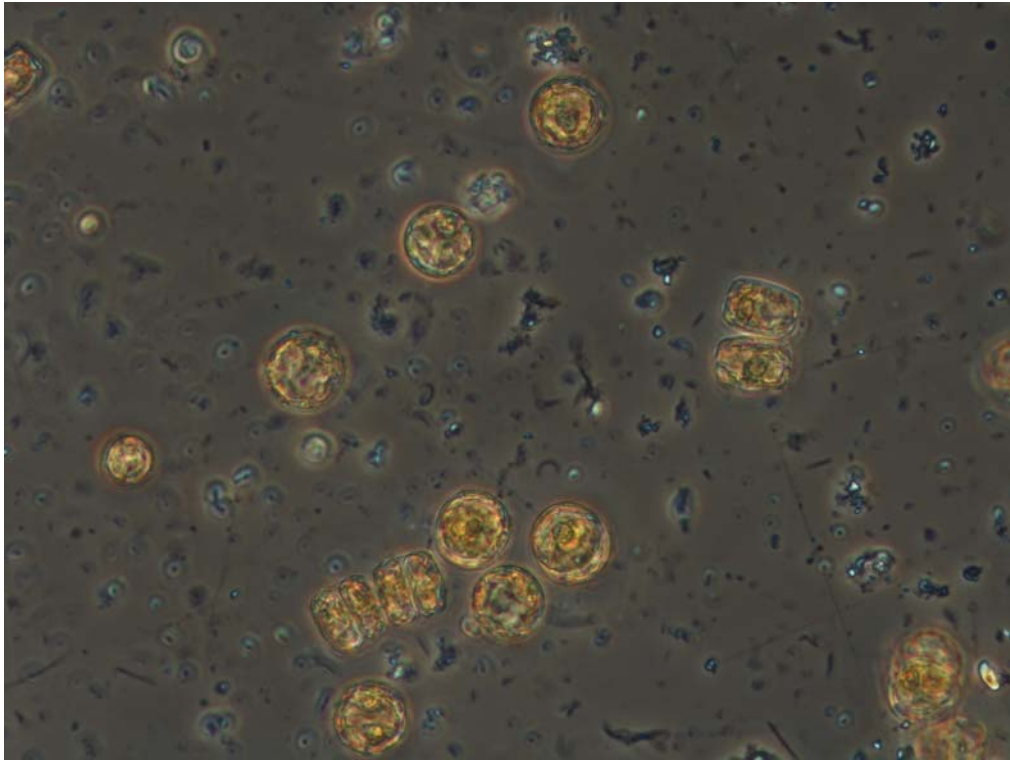
Εικόνα 4: Μικροφωτογραφία των οργανισμών του φυτοπλαγκτού στη Λίμνη Ισμαρίδα τον Αύγουστο του 2010



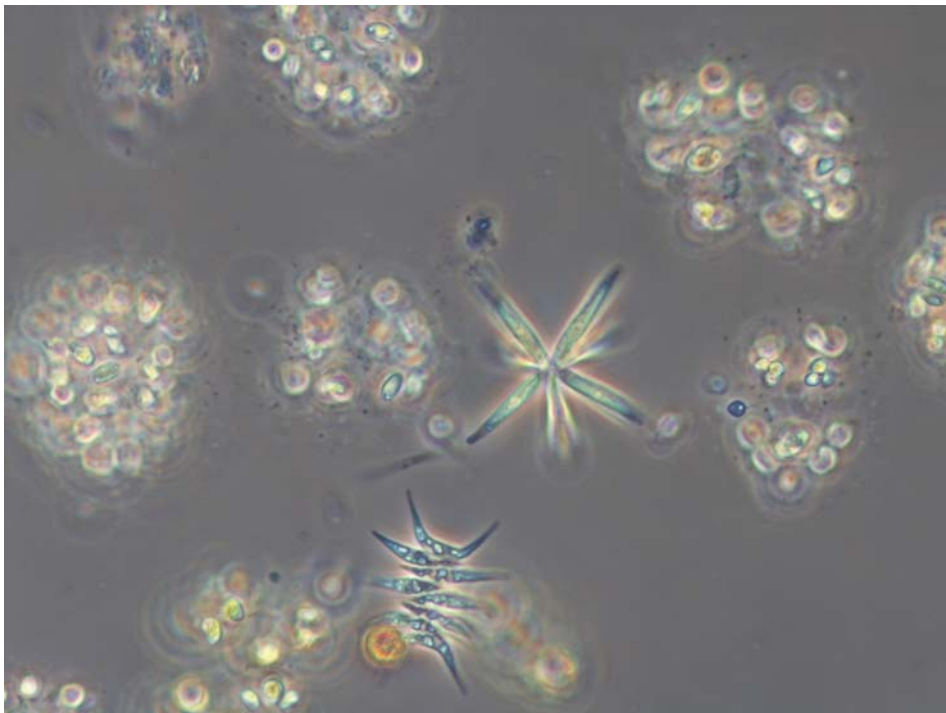
Εικόνα 5: Μικροφωτογραφία των οργανισμών του φυτοπλαγκτού στη Λίμνη Ισμαρίδα τον Σεπτέμβριο 2010



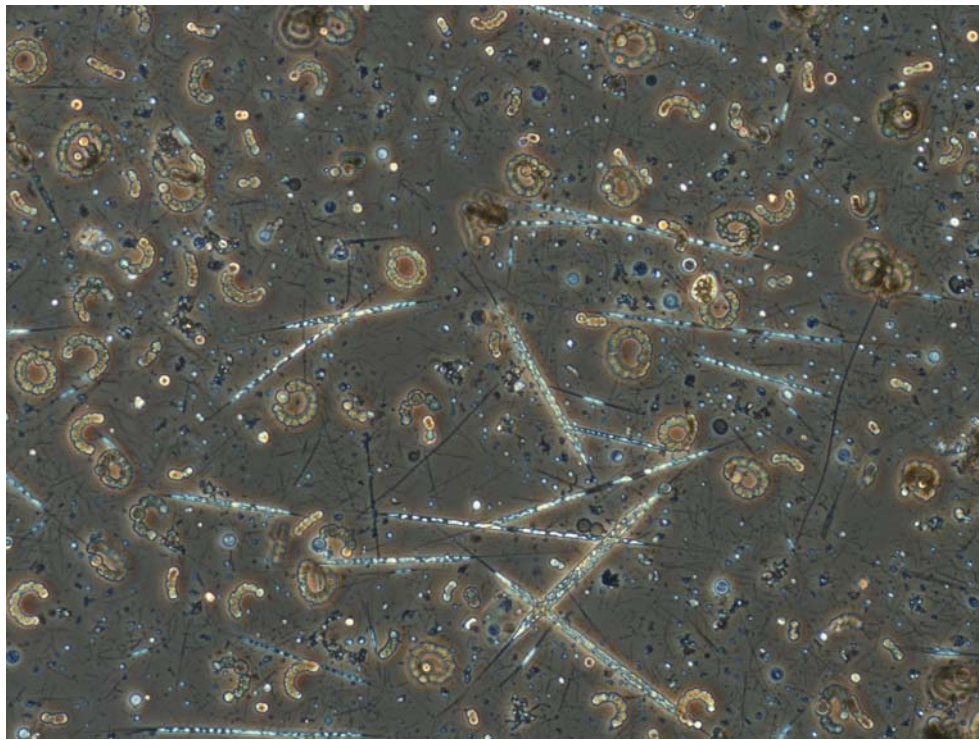
Εικόνα 6: Μικροφωτογραφία των οργανισμών του φυτοπλαγκτού στη Λίμνη Ισμαρίδα το μήνα Νοέμβριο του 2010



Εικόνα 7: Μικροφωτογραφία των οργανισμών του φυτοπλαγκτού στη Λίμνη Ισμαρίδα το μήνα Μάρτιο του 2011

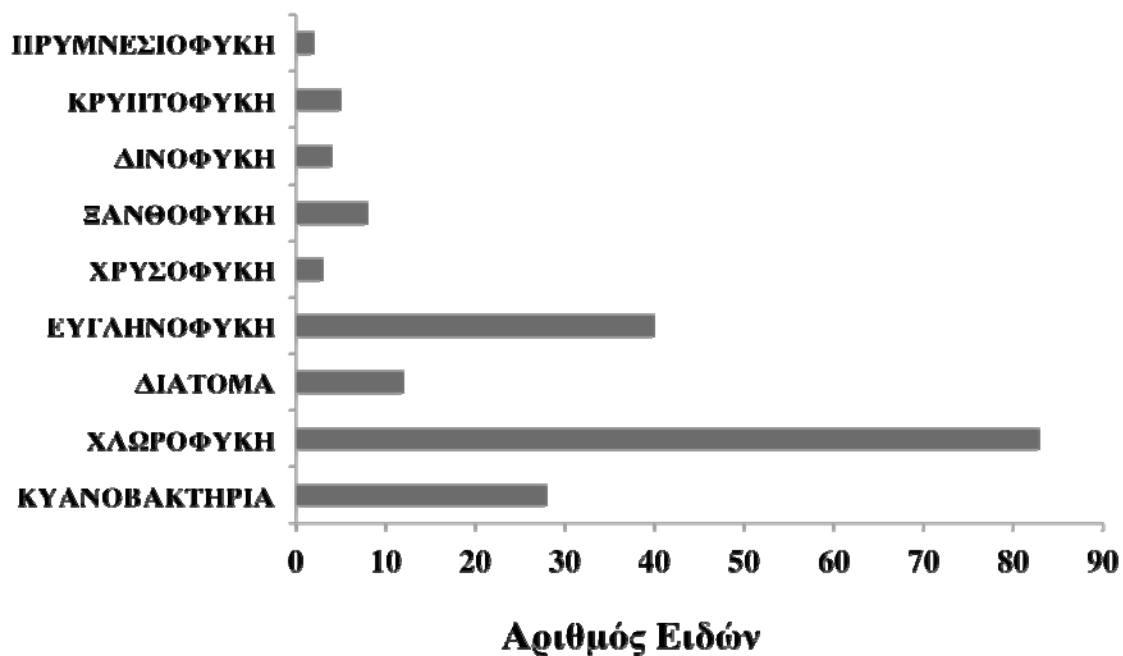


Εικόνα 8: Μικροφωτογραφία των οργανισμών του φυτοπλαγκτού στη Λίμνη Ισμαρίδα το μήνα Ιούνιο του 2011



Εικόνα 9: Μικροφωτογραφία των οργανισμών του φυτοπλαγκτού στη Λίμνη Ισμαρίδα το μήνα Σεπτέμβριο του 2011

Η κλάση των χλωροφυκών ήταν η πλουσιότερη σε αριθμό ειδών (83) και ακολουθούν τα ευγληνοφύκη (40), κυανοβακτήρια (28), διάτομα (13) και ξανθοφύκη (8), κρυπτοφύκη (5), δινοφύκη (4), χρυσοφύκη (3) και πρυμνεσιοφύκη (2) (Εικ. 10).



Εικόνα 10: Αριθμός ειδών των ταξινομικών ομάδων που καταγράφηκαν στο σύνολο των σταθμών στη Λίμνη Ισμαρίδα κατά την περίοδο έρευνας

Πίνακας 2: Κατάλογος των taxa φυτοπλαγκτού που αναγνωρίστηκαν στους σταθμούς ST1, ST2, ST3, ST4 και ST5 στη Λίμνη Ισμαρίδα κατά την περίοδο έρευνας (Τα δεδομένα αναφέρονται σε ενιαίο δείγμα που λήφθηκε από την εύρωτη ζώνη των προαναφερθέντων σταθμών).

ΤΑΧΑ ΦΥΤΟΠΛΑΓΚΤΟΥ	
KYANOBAKTHPIA (28)	<i>Crucigenia tetrapedia</i>
<i>Anabaena aphanizomenoides</i>	<i>Crucigeniella neglecta</i>
<i>Anabaena</i> cf. <i>compacta</i>	<i>Dictyosphaerium</i> cf. <i>tetrachotomum</i>
<i>Anabaena</i> sp.	<i>Dictyosphaerium</i> cf. <i>ehrenbergianum</i>
<i>Anabaena planctonica</i>	<i>Didymocystis bicellularis</i>
<i>Anabaenopsis</i> cf. <i>arnoldii</i>	<i>Elakatothrix gelatinosa</i>
<i>Anabaenopsis</i> cf. <i>elenkinii</i>	<i>Golenkinia radiata</i>
<i>Aphanizomenon issatschenkoi</i>	<i>Golenkiniopsis solitaria</i>
<i>Aphanocapsa delicatissima</i>	<i>Gonium</i> cf. <i>pectorale</i>
<i>Chroococcus dispersus</i>	<i>Granulocystis</i> sp.
<i>Chroococcus limneticus</i>	<i>Hyaloraphidium</i> sp.
<i>Cyanodictyon</i> sp.	<i>Haematococcus</i> sp.
<i>Jaagenima</i> sp.	<i>Kirchneriella</i> cf. <i>obesa</i>
<i>Limnothrix</i> cf. <i>redekei</i>	<i>Kirchneriella irregularis</i>
<i>Merismopedia</i> cf. <i>minima</i>	<i>Kirchneriella lunaris</i>
<i>Merismopedia punctata</i>	<i>Koliella longiseta</i>
<i>Merismopedia tenuissima</i>	<i>Lagerheimia</i> cf. <i>chodatii</i>
<i>Microcystis aeruginosa</i>	<i>Lagerheimia citriformis</i>
<i>Microcystis wesenbergii</i>	<i>Lagerheimia wratislaviensis</i>
<i>Planktothrix</i> cf. <i>agardhii</i>	<i>Monoraphidium arcuatum</i>
<i>Pseudoanabaena limnetica</i>	<i>Monoraphidium contortum</i>
<i>Pseudoanabaena</i> cf. <i>musicola</i>	<i>Monoraphidium flexuosum</i>
<i>Raphidiopsis mediterranea</i>	<i>Monoraphidium griffithii</i>
<i>Romeria</i> sp.	<i>Monoraphidium komarkovae</i>
<i>Snowella</i> cf. <i>arachnoeidea</i>	<i>Monoraphidium minutum</i>
<i>Spirulina</i> sp.	<i>Nephrochlamys subsolitaria</i>
<i>Woronichinia</i> sp.	<i>Nephrocytium</i> sp.
Άγνωστο κοκκοειδές κυανοβακτήριο	<i>Oocystis</i> sp.
Άγνωστο νηματοειδές κυανοβακτήριο	<i>Pandorina morum</i>
ΧΛΩΡΟΦΥΚΗ (83)	<i>Pediastrum boryanum</i>
<i>Actinastrum aciculare</i>	<i>Pediastrum duplex</i>
<i>Actinastrum hantzschii</i>	<i>Pediastrum tetras</i>
<i>Ankistrodesmus fusiformis</i>	<i>Phacotus</i> sp.
<i>Asterococcus limneticus</i>	<i>Planktonema lauterbornii</i>
<i>Carteria</i> sp.	<i>Polyedriopsis spinulosa</i>
<i>Chlamydomonas</i> sp.	<i>Pteromonas</i> cf. <i>aequiciliata</i>
<i>Chlorogonium minimum</i>	<i>Scenedesmus acuminatus</i>
<i>Choricystis coccoides</i>	<i>Scenedesmus acutus</i>
<i>Coelastrum astroideum</i>	<i>Scenedesmus</i> cf. <i>obliquus</i>
<i>Coelastrum pseudomicroporum</i>	<i>Scenedesmus dimorphus</i>

Scenedesmus disciformis
Scenedesmus intermedius
Scenedesmus obtusus
Scenedesmus ovalternus
Scenedesmus spp.
Selenastrum capricornutum
Shroederia indica
Shroederia setigera
Shroederia spiralis
Sphaerocystis Schroeteri
Tetraedron minimum
Tetraedron triangulare
Tetraselmis sp.
Tetrastrum triangulare
Tetrastrum stavrogeniaforme
Thelesphaera alpina
Treubaria triappendiculata
Westella cf. botryoeides
Closterium diana
Closterium cf. strigosum
Closterium gracile
Closterium kuetzingii
Closterium moniliferum
Cosmarium abbreviatum
Cosmarium blyttii
Cosmarium cf. ornatum
Cosmarium laeve
Euastrum insulare
Gleotila sp.
Mougeotia sp.
Staurastrum spI.
Staurastrum spII.
Staurodesmus sp.

ΔΙΑΤΟΜΑ (13)

Amphiprora sp.
Aulacoseira granulata
Chaetocheros cf. mulleri
Cyclotella sp.
Fragilaria crotonensis
Gyrosigma sp.
Melosira sp.
Nitzschia acicularis
Nitzschia closterioeides
Nitzschia sp.
Rhizosolenia setigera

Stephanodiscus spp.

Synedra acus

ΕΥΓΛΗΝΟΦΥΚΗ (40)

Colacium sp.
Euglena acus
Euglena caudata
Euglena cf. excavata
Euglena cf. hemichromata
Euglena cf. limnophila
Euglena cf. texta
Euglena ehrenbergii
Euglena fenestrata
Euglena gracilis
Euglena gymnodinioides
Euglena intermedia
Euglena cf. minima
Euglena mutabilis
Euglena oxyuris
Euglena spathirhyncha
Euglena spirogyra
Euglena tripteris
Leponcilis cf. physalis
Leponcilis cf. stenii
Leponcilis cf. texta
Leponcilis fusiformis
Leponcilis ovum
Phacus cf. angulatus
Phacus cf. arnoldi
Phacus curvicauda
Phacus longicauda
Phacus orbicularis
Phacus pyrum
Phacus tortus
Strombomonas cf. fluviatilis
Trachelomonas armata
Trachelomonas cf. crebea
Trachelomonas cf. similis
Trachelomonas hispida
Trachelomonas intermedia
Trachelomonas nigra
Trachelomonas planctonica
Trachelomonas volvocinopsis
Trachelomonas sp.

ΚΡΥΠΤΟΦΥΚΗ (5)

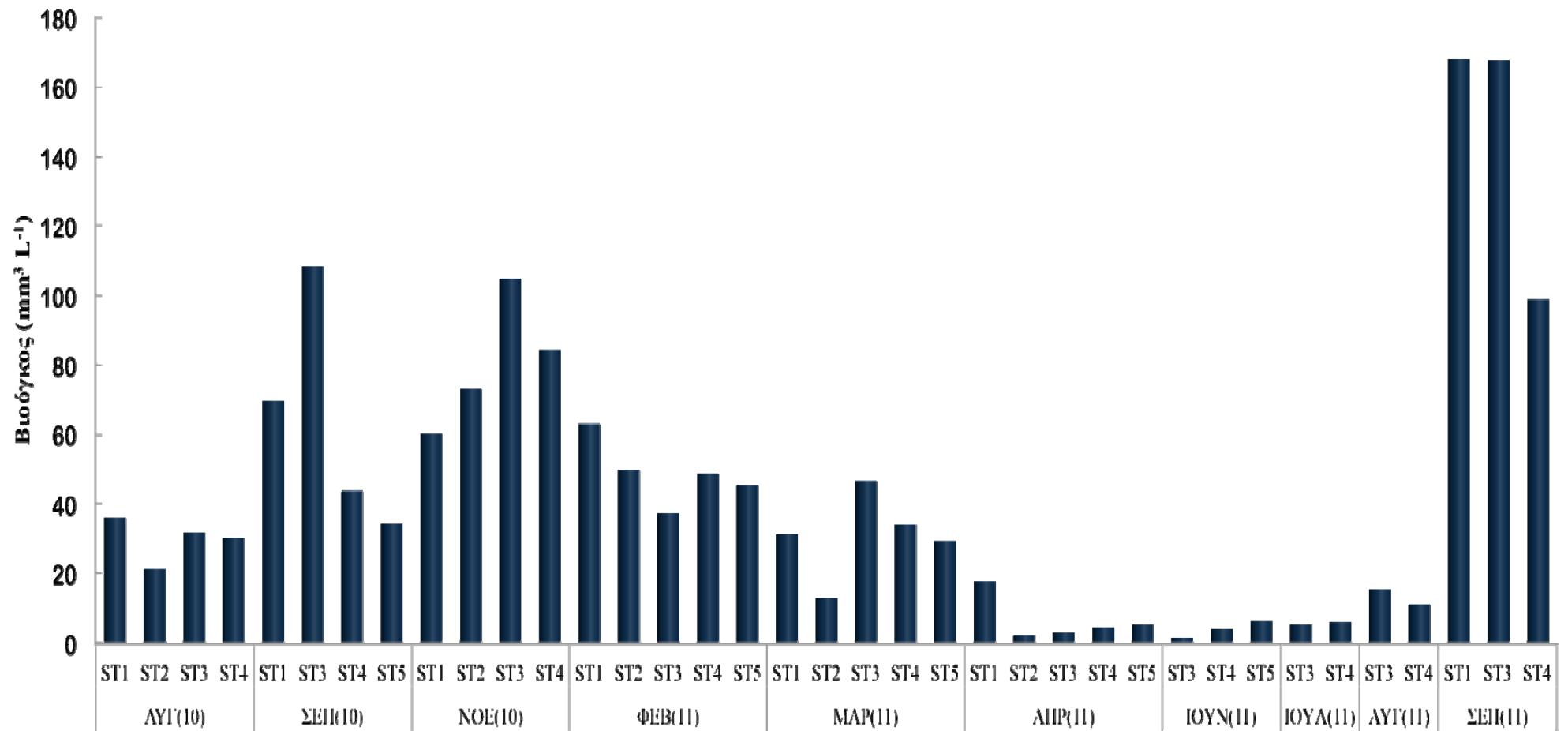
Cryptomonas erosa

<i>Cryptomonas ovata</i>	ΔΙΝΟΦΥΚΗ (4)
<i>Cryptomonas reflexa</i>	<i>Katodinium rotundatum</i>
<i>Rhodomonas lens</i>	<i>Peridiniopsis</i> sp.
<i>Rhodomonas minuta</i>	<i>Peridinium</i> spp.
ΞΑΝΘΟΦΥΚΗ (8)	<i>Pfiesteria</i> sp.
<i>Centritractus africanus</i>	ΠΡΥΜΝΕΣΙΟΦΥΚΗ (2)
<i>Goniochloris</i> cf. <i>fallax</i>	<i>Chrysochromulina parva</i>
<i>Goniochloris contorta</i>	<i>Chrysochromulina</i> sp.
<i>Goniochloris mutica</i>	ΧΡΥΣΟΦΥΚΗ (3)
<i>Goniochloris pulchra</i>	<i>Dinobryon sertularia</i>
<i>Goniochloris smithii</i>	<i>Micractinium pusillum</i>
<i>Pseudogoniochloris tripus</i>	<i>Ochromonas ludibunda</i>
<i>Tetraedriella quadriseta</i>	

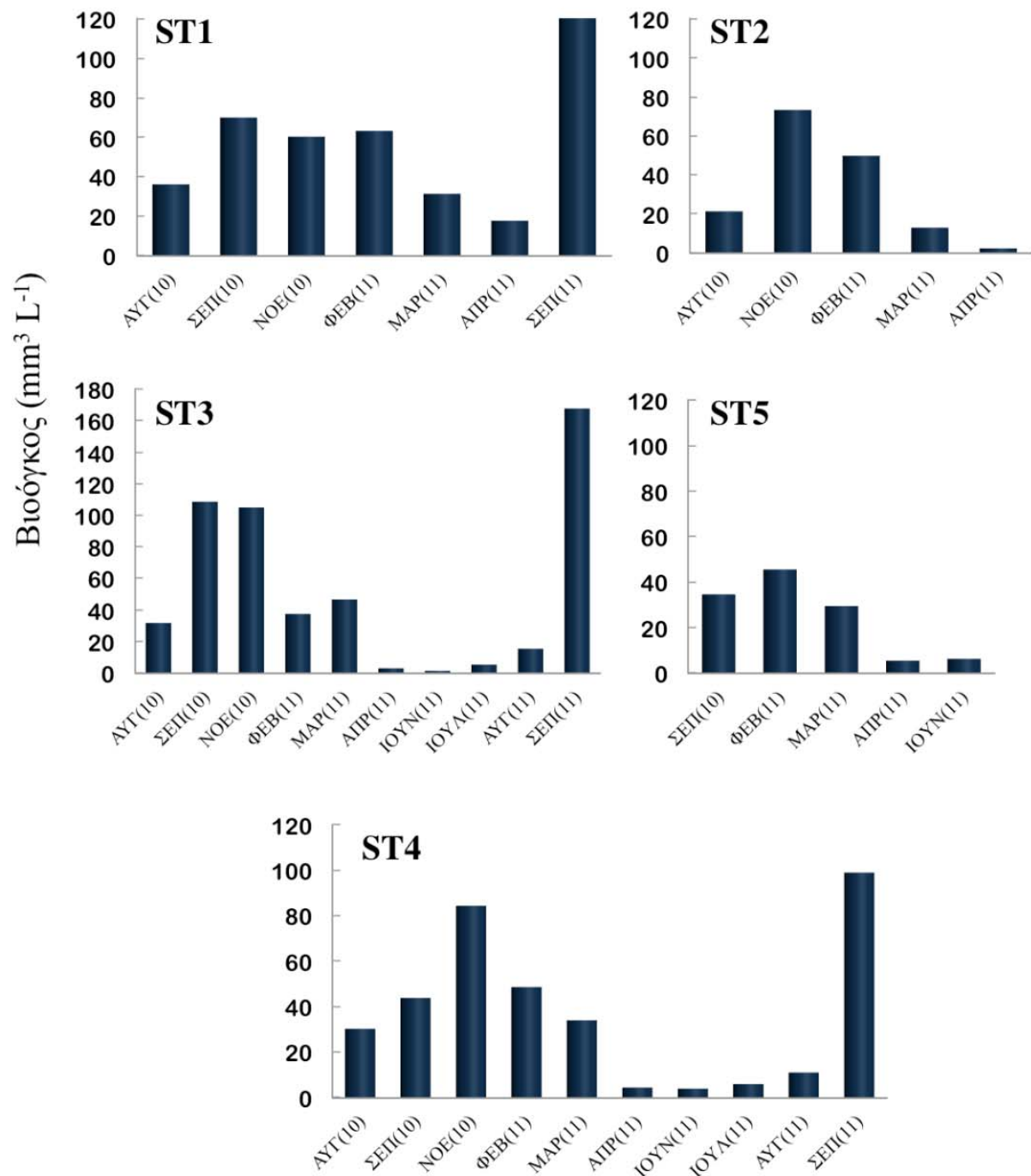
4.4 Βιοόγκος Φυτοπλαγκτού

Στην Εικόνα 11 παρουσιάζεται ο συνολικός βιοόγκος ($\text{mm}^3 \text{L}^{-1}$) του φυτοπλαγκτού στους σταθμούς δειγματοληψίας (ST1, ST2, ST3, ST4 και ST5) της Λίμνης Ισμαρίδας κατά την περίοδο έρευνας. Συνολικά, σε όλους τους σταθμούς ο βιοόγκος κυμάνθηκε σε μεγάλο εύρος από 1,5 έως 168 $\text{mm}^3 \text{L}^{-1}$. Η υψηλότερη τιμή, χαρακτηριστική υπερεύτροφων λιμνών, καταγράφηκε στο σταθμό ST1 το Σεπτέμβριο του 2011 ενώ η χαμηλότερη στο σταθμό ST3 τον Ιούνιο του 2011. Συνολικά, ο βιοόγκος παρουσίασε πιο αυξημένες τιμές προς το τέλος της θερμής περιόδου (μετά τον Αύγουστο), ενώ οι χαμηλότερες καταγράφηκαν από το τέλος της άνοιξης (από τον Απρίλιο) μέχρι και τον Ιούλιο του 2011, όταν στη λίμνη κυριαρχούν τα μακρόφυτα.

Οι πέντε σταθμοί παρουσίασαν διαφορετικό πρότυπο μεταβολής του συνολικού βιοόγκου (Εικ. 12). Οι σταθμοί ST1 και ST3 παρουσίασαν τις υψηλότερες τιμές βιοόγκου σχεδόν σε όλη την περίοδο έρευνας. Οι μικρότερες τιμές βιοόγκου καταγράφηκαν στον σταθμό ST2. Οι διαφορές αυτές φαίνεται να σχετίζονται κυρίως με τις ιδιαιτερότητες της μορφομετρίας και του υδρολογικού καθεστώτος της λίμνης.



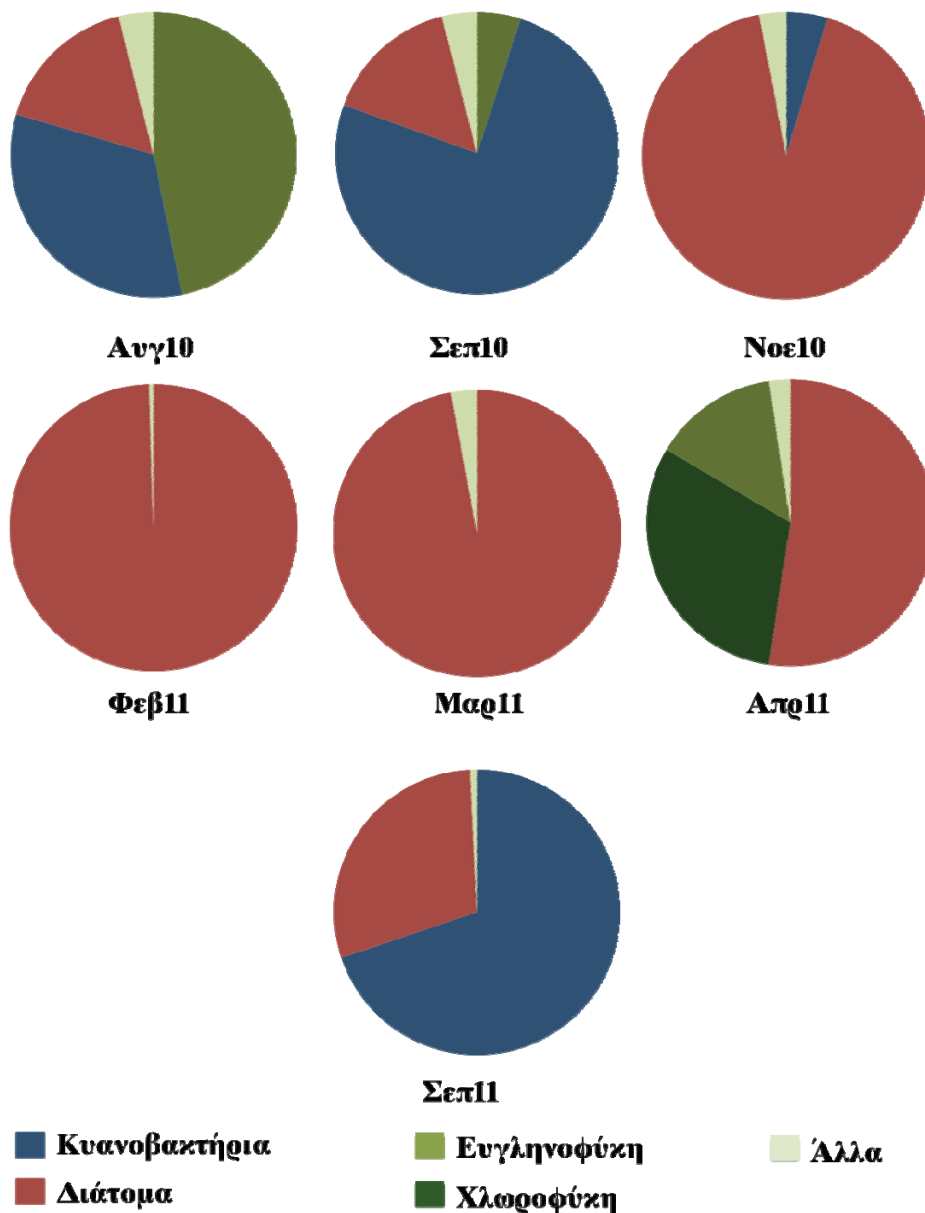
Εικόνα 11: Συνολικός βιοοόγκος ($\text{mm}^3 \text{L}^{-1}$) του φυτοπλαγκτού (άξονας ψ) στους σταθμούς ST1, ST2, ST3, ST4 και ST5 (άξονας χ) στη Λίμνη Ισμαρίδα κατά την περίοδο έρευνας



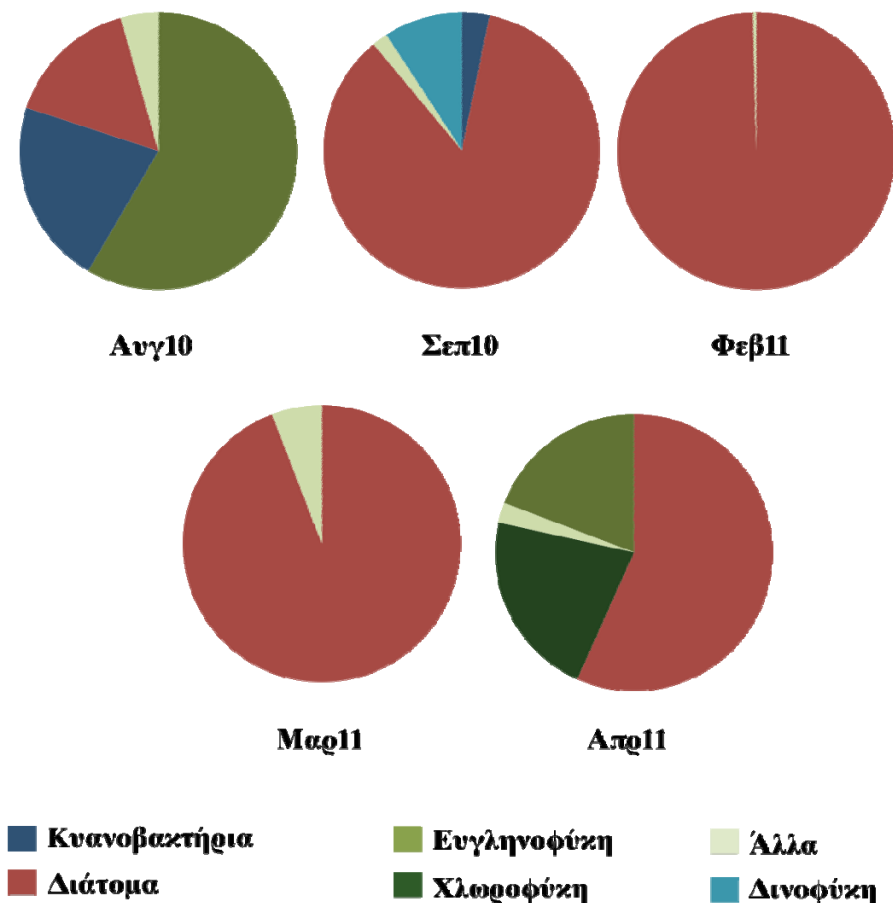
Εικόνα 12: Συνολικός βιοόγκος ($\text{mm}^3 \text{L}^{-1}$) του φυτοπλαγκτού (άξονας ψ) στους σταθμούς ST1, ST2, ST3, ST4 και ST5 (άξονας χ) στη Λίμνη Ισμαρίδα κατά την περίοδο έρευνας

Η σύνθεση των κυρίαρχων ομάδων φυτοπλαγκτού παρουσίασε διαφορές τόσο ανάμεσα στους σταθμούς όσο και ανάμεσα στους μήνες σε κάθε σταθμό, όπως φαίνεται στις εικόνες 13, 14, 15, 16, 17), με τα ευγληνοφύκη, τα κυανοβακτήρια, τα διάτομα, τα χλωροφύκη και τα κρυπτοφύκη να κυριαρχούν. Αναλυτικότερα,

Στο σταθμό ST1 οι κυρίαρχες ταξινομικές ομάδες ως προς το βιοόγκο ήταν τα κυανοβακτήρια, τα διάτομα, τα ευγληνοφύκη και τα χλωροφύκη (Εικ. 13). Τα κυανοβακτήρια βρέθηκαν ως κυρίαρχα τους μήνες Αύγουστο (μαζί με τα χλωροφύκη) και Σεπτέμβριο του 2010 και τον Σεπτέμβριο του 2011. Τα διάτομα ήταν οι πλέον κυρίαρχοι οργανισμοί στο φυτοπλαγκτό της λίμνης κυρίως από το Νοέμβριο 2010 μέχρι και τον Απρίλιο του 2011 (μαζί με τα χλωροφύκη).



Εικόνα 13: Συμμετοχή των διαφόρων ταξινομικών ομάδων στο σταθμό ST1 στη Λίμνη Ισμαρίδα κατά την περίοδο έρευνας

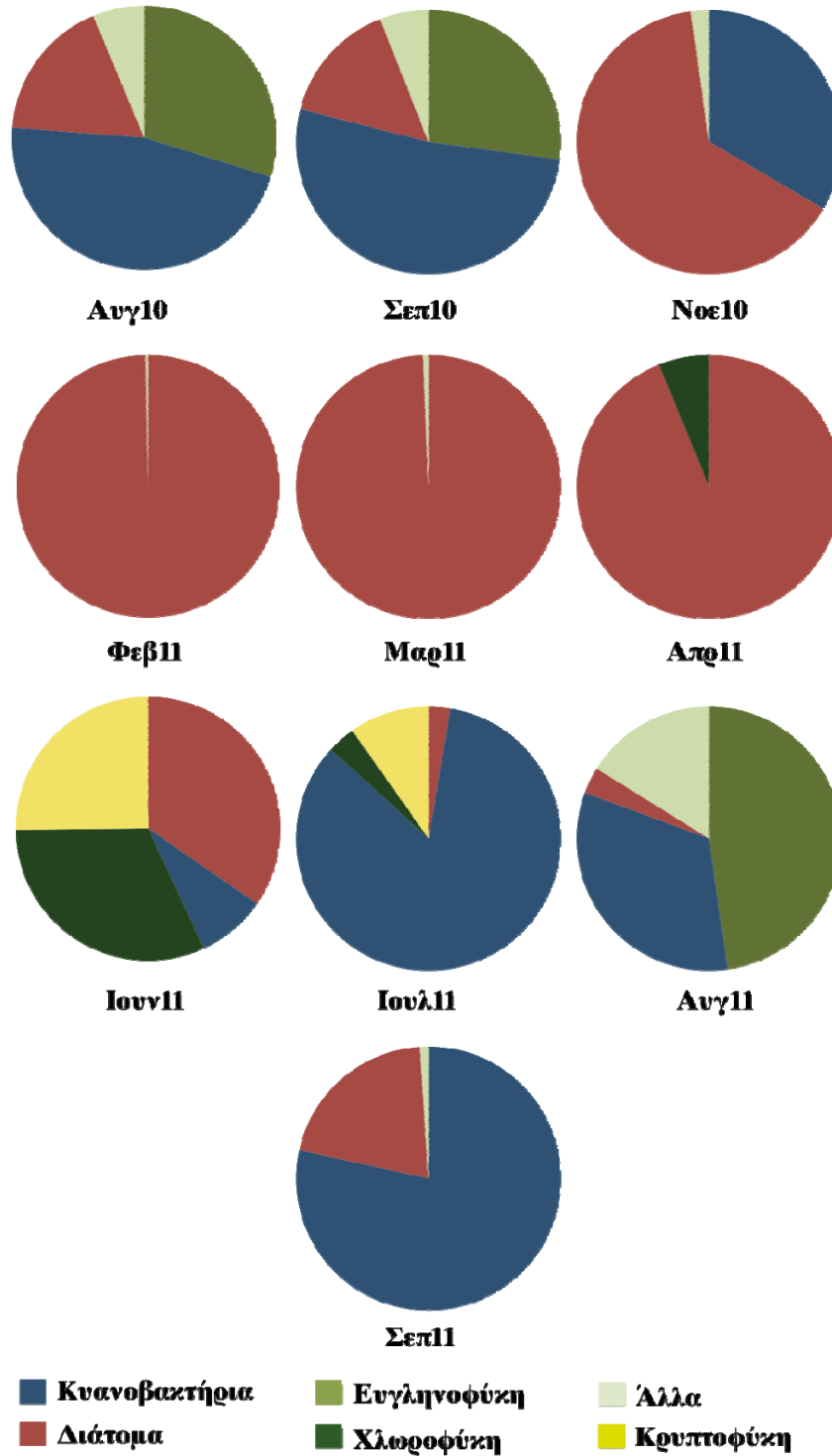


Εικόνα 14: Συμμετοχή των διαφόρων ταξινομικών ομάδων στο σταθμό ST2 στη Λίμνη Ισμαρίδα κατά την περίοδο έρευνας (η απουσία δεδομένων από τις υπόλοιπους μήνες οφείλεται στη μη δυνατότητα πρόσβασης στο σταθμό λόγω της υπέρμετρης ανάπτυξης υδρόβιων φυτών)

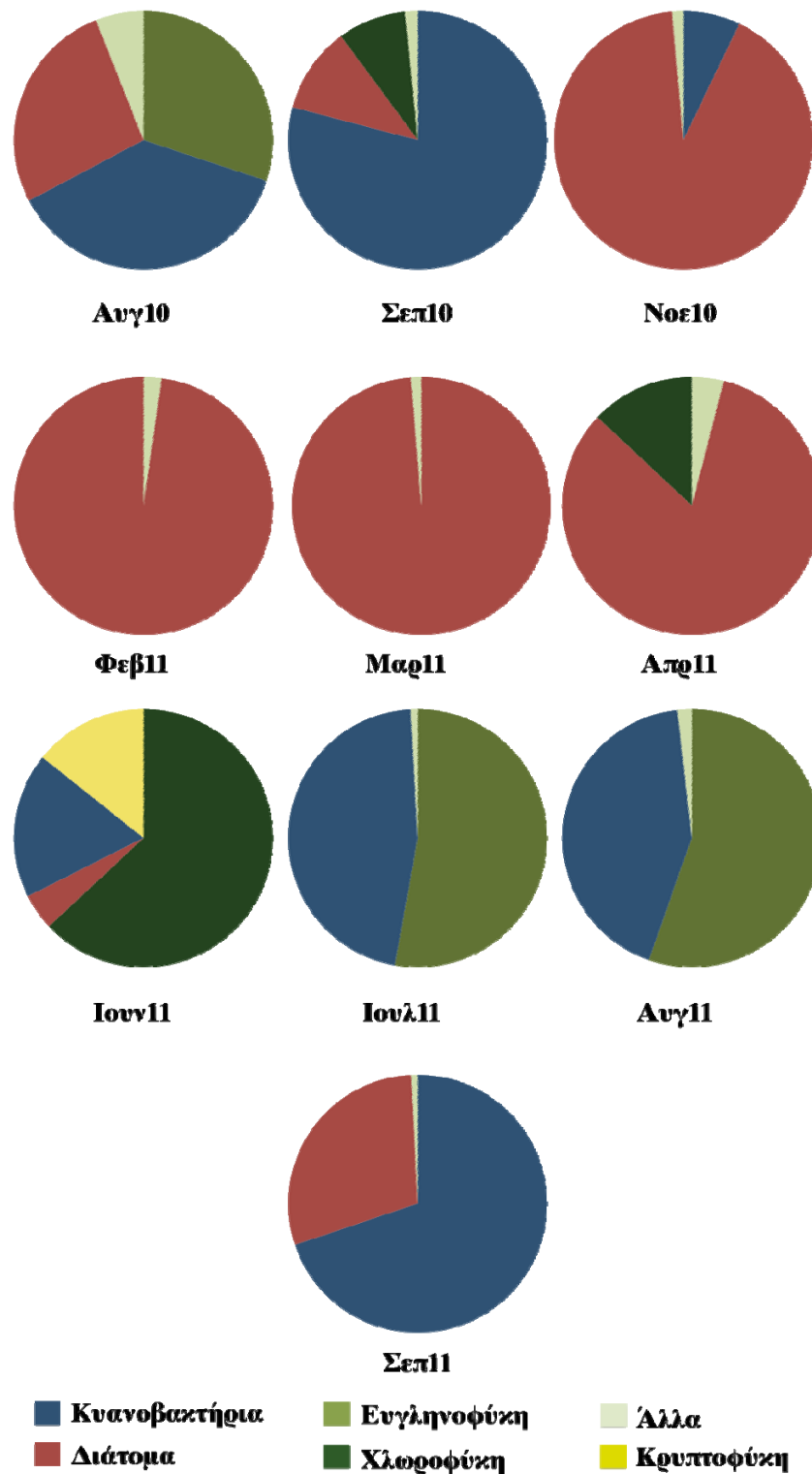
Στο σταθμό ST2 (Εικ. 14), ο οποίος βρίσκεται κοντά στην είσοδο των νερών του ποταμού Βοσβόζη στη λίμνη, κατά την περίοδο έρευνας κυρίαρχες ήταν οι ομάδες των ευγληνοφυκών, των κυανοβακτηρίων, των διατόμων, των χλωροφυκών και των δινοφυκών. Τα ευγληνοφύκη βρέθηκαν κυρίαρχα τον Αύγουστο του 2010 και τον Απρίλιο του 2011, όταν στο συγκεκριμένο σταθμό παρουσίαζαν μεγάλη αύξηση τα υδρόβια φυτά. Τα κυανοβακτήρια βρέθηκαν ανάμεσα στις κυρίαρχες ομάδες φυτοπλαγκτού μόνο τον Αύγουστο του 2010 και τα χλωροφύκη τον Απρίλιο του 2011. Ωστόσο η πλέον κυρίαρχη ομάδα ήταν τα διάτομα, ενώ μόνο στο συγκεκριμένο σταθμό παρατηρήθηκε και συμμετοχή >10% των δινοφυκών το Σεπτέμβριο του 2010.

Στο σταθμό ST3 (Εικ. 15), που χαρακτηριζόταν από μεγάλο χρόνο παραμονής του νερού, κατά την περίοδο έρευνας κυρίαρχες ήταν οι ομάδες των κυανοβακτηρίων, των ευγληνοφυκών, των διατόμων, των χλωροφυκών και των κρυπτοφυκών. Τα κυανοβακτήρια βρέθηκαν κυρίαρχα τους μήνες με τις υψηλότερες θερμοκρασίες (Αύγουστος-Νοέμβριος 2010, Ιούλιος-Σεπτέμβριος 2011). Τα ευγληνοφύκη ήταν κυρίαρχα τους μήνες μετά το τέλος της υπέρμετρης αύξησης των

υδρόβιων μακρόφυτων (Αύγουστος-Σεπτέμβριος 2010, Αύγουστος 2011). Τα διάτομα ήταν κυρίαρχα όπως και στους υπόλοιπους σταθμούς, τους μήνες με τις χαμηλότερες γενικά θερμοκρασίες (Νοέμβριος 2010 - Ιούνιος 2011). Τα χλωροφύκη και τα κρυπτοφύκη βρέθηκαν ανάμεσα στις κυρίαρχες ομάδες μόνο κατά τον Ιούνιο του 2011.



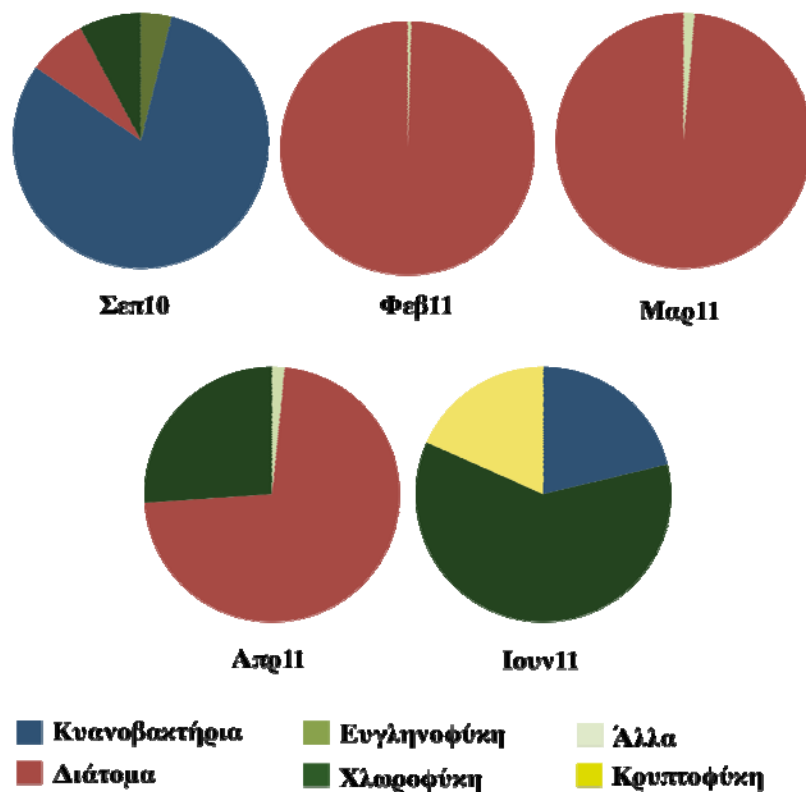
Εικόνα 15: Συμμετοχή των διαφορετικών ταξινομικών ομάδων στο σταθμό ST3 στη Λίμνη Ισμαρίδα κατά την περίοδο έρευνας



Εικόνα 16: Συμμετοχή των διαφόρων ταξινομικών ομάδων στο σταθμό ST4 στη Λίμνη Ισμαρίδα κατά την περίοδο έρευνας

Στο σταθμό ST4 (Εικ. 16), που βρισκόταν στο σημείο απορροής της λίμνης, κατά την περίοδο έρευνας κυρίαρχες ήταν οι ομάδες των κυανοβακτηρίων, των ευγληνοφυκών, των διατόμων, των χλωροφυκών και των κρυπτοφυκών. Τα κυανοβακτήρια βρέθηκαν κυρίαρχα τους μήνες με τις υψηλότερες θερμοκρασίες (Αύγουστος-Νοέμβριος 2010, Ιούνιος-Σεπτέμβριος 2011). Τα ευγληνοφύκη ήταν κυρίαρχα τους μήνες κατά τη διάρκεια και μετά το τέλος της

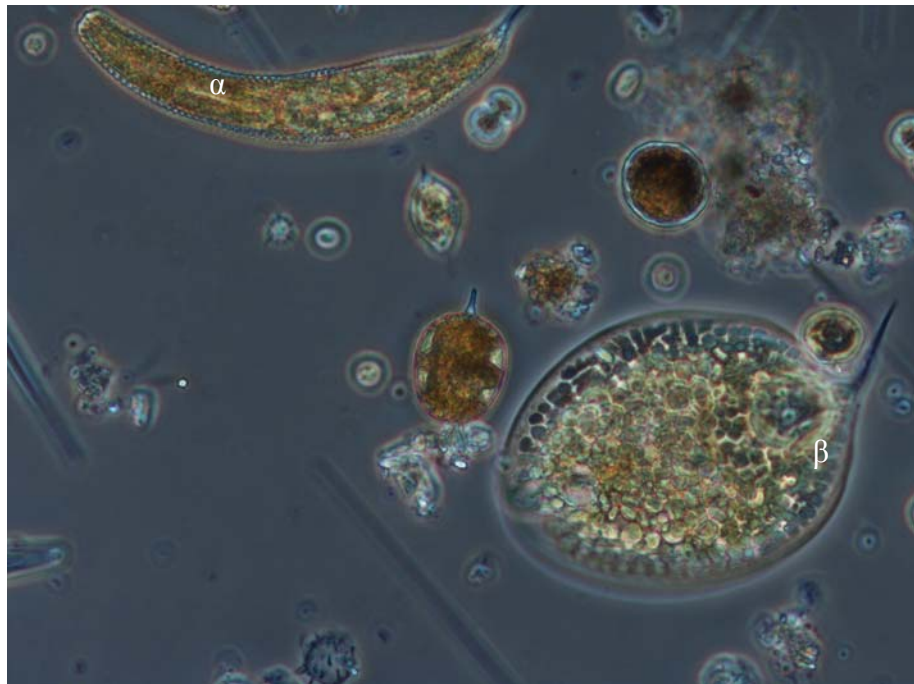
υπέρμετρης αύξησης των υδρόβιων μακρόφυτων (Αύγουστος 2010, Ιούλιος & Αύγουστος 2011). Τα διάτομα ήταν κυρίαρχα όπως και στους υπόλοιπους σταθμούς, τους μήνες με τις χαμηλότερες γενικά θερμοκρασίες (Νοέμβριος 2010 - Απρίλιος 2011 & Σεπτέμβριος 2011) με εξαίρεση τον Σεπτέμβριο του 2011, όταν η αγωγιμότητα στο σταθμό ήταν παραπλήσια του προσκείμενου θαλασσινού νερού. Ιδιαίτερη σημασία έχει, ότι το διάτομο *Rhizosolenia setigera* που επικρατούσε τον Σεπτέμβριο, είναι είδος παράκτιων θαλασσών η και υφάλμυρων συστημάτων. Τα χλωροφύκη και τα κρυπτοφύκη βρέθηκαν ανάμεσα στις κυρίαρχες ομάδες μόνο κατά τον Ιούνιο του 2011.



Εικόνα 17: Συμμετοχή των διαφόρων ταξινομικών ομάδων στο σταθμό ST5 στη Λίμνη Ισμαρίδα κατά την περίοδο έρευνας (η απουσία δεδομένων από τις υπόλοιπους μήνες οφείλεται στη μη δυνατότητα πρόσβασης στο σταθμό λόγω της υπέρμετρης ανάπτυξης υδρόβιων φυτών)

Στο σταθμό ST5 (Εικ. 17), που βρισκόταν στα δυτικό τμήμα της λίμνης κοντά στους καλαμώνες, κατά την περίοδο έρευνας κυρίαρχες ήταν οι ομάδες των κυανοβακτηρίων, των διατόμων, των χλωροφυκών και των κρυπτοφυκών. Τα κυανοβακτήρια βρέθηκαν κυρίαρχα τους μήνες με τις υψηλότερες θερμοκρασίες (Σεπτέμβριος 2010, Ιούνιος 2011). Τα διάτομα ήταν κυρίαρχα όπως και στους υπόλοιπους σταθμούς, τους μήνες με τις χαμηλότερες γενικά θερμοκρασίες (Φεβρουάριος - Απρίλιος 2011). Τα χλωροφύκη και τα κρυπτοφύκη βρέθηκαν ανάμεσα στις κυρίαρχες ομάδες μόνο κατά τον Ιούνιο του 2011.

Από τα ευγληνοφύκη, οι κυριότεροι αντιπρόσωποι ήταν είδη του γένους *Euglena*, ενώ καταγράφηκαν και αρκετά είδη από τα γένη *Phacus*, *Trachelomonas* και *Leponcilis* (Εικ. 18).

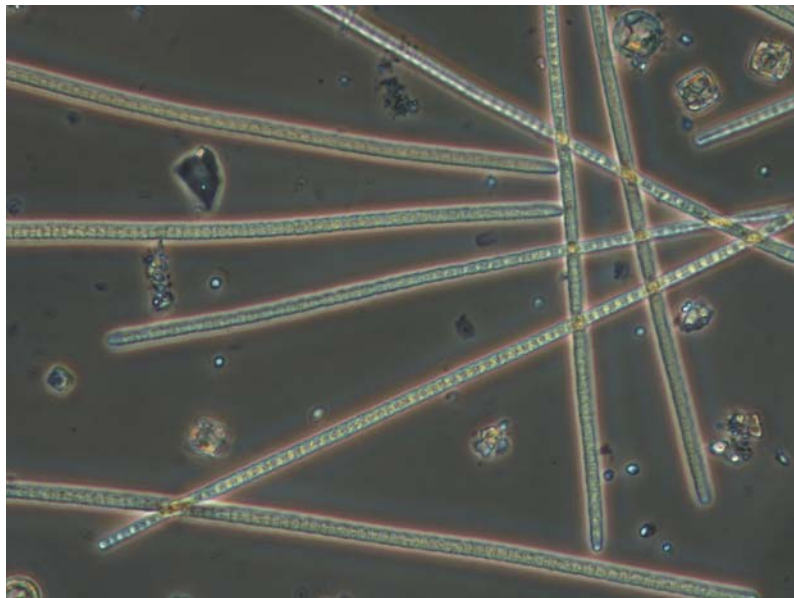


Εικόνα 18: Μικροφωτογραφία ευγληνοφυκών (είδη *Euglena spirogyra* (α), *Phacus orbicularis* (β)) στη Λίμνη Ισμαρίδα

Από τα κυανοβακτήρια, τα πλέον κυρίαρχα είδη ήταν είδη του γένους *Anabaena* (*A. viguieri*, *A. aphanizomenoides*) (Εικ. 19) και το είδος *Planktothrix agardhii* (Εικ. 20). Το Σεπτέμβριο του 2011, το κυρίαρχο κυανοβακτήριο στη λίμνη ήταν το *Anabaenopsis arnoldii* (Εικ. 21), το οποίο είναι χαρακτηριστικό συστημάτων με υψηλή αλατότητα.



Εικόνα 19: Μικροφωτογραφία του κυανοβακτηρίου *Anabaena viguieri* (α, β) στη Λίμνη Ισμαρίδα

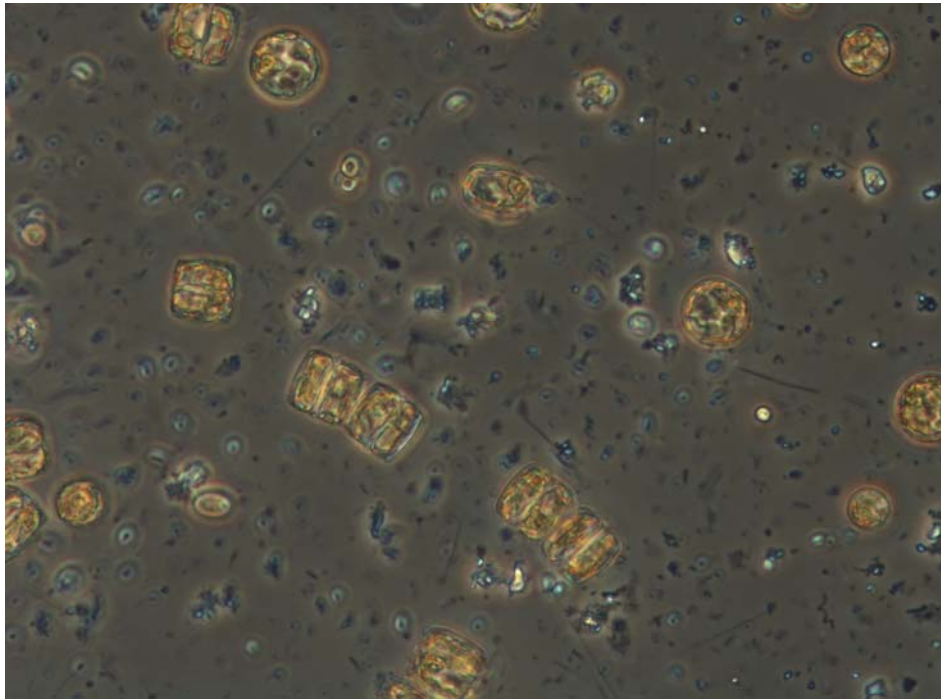


Εικόνα 20: Μικροφωτογραφία του κυανοβακτηρίου *Planktothrix agardii* στη Λίμνη Ισμαρίδα

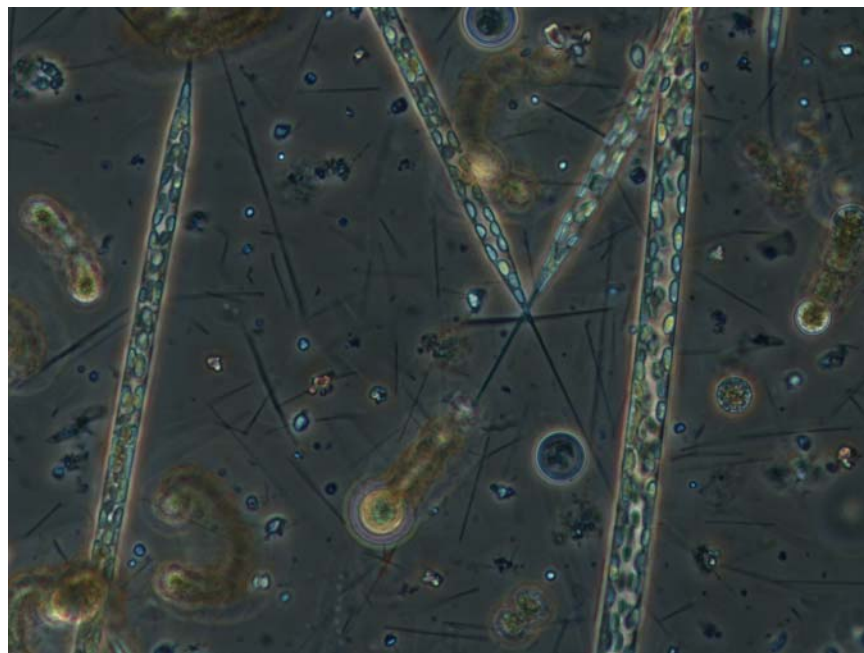


Εικόνα 21: Μικροφωτογραφία του κυανοβακτηρίου *Anabaenopsis arnoldii* στη Λίμνη Ισμαρίδα

Από τα διάτομα, κυρίαρχη θέση είχαν είδη του γένους *Stephanodiscus* (Εικ. 22) μέχρι και τον Απρίλιο του 2011, ενώ το Σεπτέμβριο κυρίαρχο ήταν το διάτομο *Rhizosolenia setigera* (Εικ. 23).



Εικόνα 22: Μικροφωτογραφία του διατόμου *Stephanodiscus* sp. στη Λίμνη Ισμαρίδα



Εικόνα 23: Μικροφωτογραφία του διατόμου *Rhizosolenia setigera* στη Λίμνη Ισμαρίδα

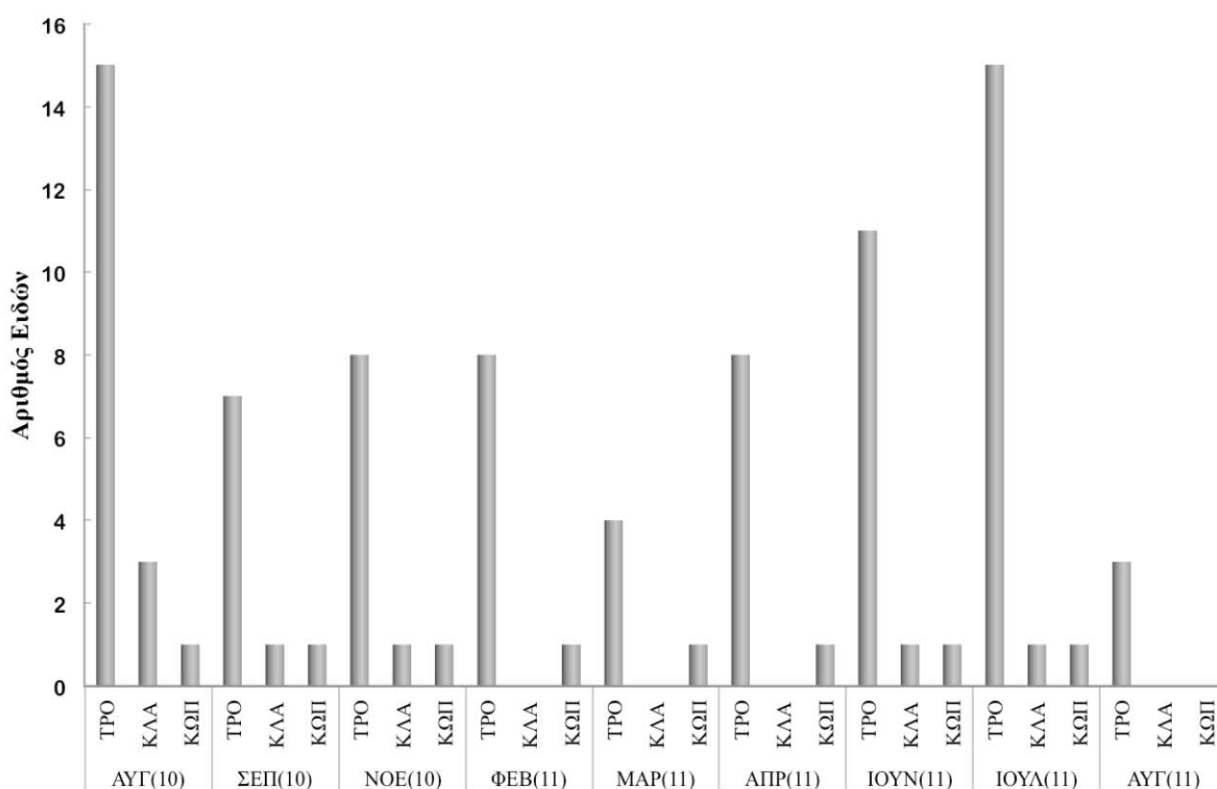
Συνολικά, σχεδόν σε όλους τους σταθμούς το γενικό πρότυπο κυριαρχίας ήταν η μετάβαση από τα κυρίαρχα ευγληνοφύκη και κυανοβακτήρια από τον Αύγουστο μέχρι το Σεπτέμβριο του 2010, στα κυρίαρχα κυανοβακτήρια και διάτομα το Νοέμβριο του 2010, στα κυρίαρχα διάτομα το Νοέμβριο, Φεβρουάριο και Μάρτιο του 2011, ενώ τον Απρίλιο η κυριαρχία άρχισε να περνά από τα διάτομα στα χλωροφύκη (μαζί με τα κρυπτοφύκη σε κάποιους σταθμούς

τον Ιούνιο) και στη συνέχεια τα ευγληνοφύκη και κυανοβακτήρια μέσα στο καλοκαίρι του 2011. Το Σεπτέμβριο του 2011, όταν η αγωγιμότητα ξεπέρασε τα 20 mS λόγω εισόδου θαλασσινού νερού, κυρίαρχα ήταν διάτομα και κυανοβακτήρια που είναι χαρακτηριστικά υδάτινων συστημάτων με υψηλή αλατότητα.

4.5 Σύνθεση ειδών ζωοπλαγκτού

Στον Πίνακα 3 δίνεται η παρουσία των ειδών που αναγνωρίστηκαν στα δείγματα ζωοπλαγκτού που συλλέχθηκαν από το σταθμό ST1 κατά την περίοδο έρευνας.

Συνολικά 32 taxa ζωοπλαγκτού καταγράφηκαν στη λίμνη κατά τους μήνες αυτούς με αντιπροσώπους και από τις τρεις ομάδες (τροχόζωα, κλαδοκερωτά, κωπήποδα). Τα τροχόζωα ήταν η πιο πλούσια ομάδα σε αριθμό ειδών (26 είδη) με μεγάλο αριθμό αντιπροσώπων του γένους *Brachionus*, ενώ αρκετά μικρότερος ήταν ο αριθμός ειδών των κλαδοκερωτών (4 είδη) και των κωπηπόδων (1 είδος) (Εικ. 24). Ο μεγαλύτερος αριθμός ειδών (18 είδη) καταγράφηκε τον Αύγουστο του 2010 και ο μικρότερος (3 είδη) τον Αύγουστο του 2011, ενώ τους υπόλοιπους μήνες ο αριθμός ειδών κυμάνθηκε στα 9-17 είδη.



Εικόνα 24: Αριθμός ειδών ανά ταξινομική ομάδα που καταγράφηκαν στη Λίμνη Ισμαρίδα κατά την περίοδο έρευνας

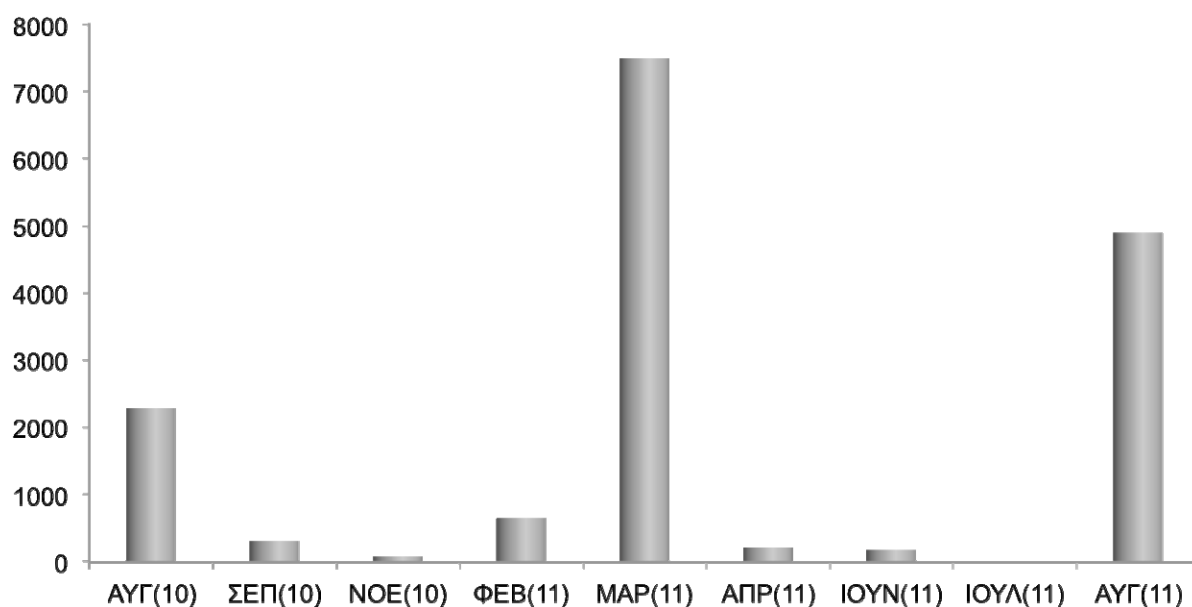
Πίνακας 2: Κατάλογος και παρουσία «•» των taxa ζωοπλαγκτού που αναγνωρίστηκαν στη Λίμνη Ισμαρίδα κατά την περίοδο έρευνας

	ΑΥΓ(10)	ΣΕΠ(10)	ΝΟΕ(10)	ΦΕΒ(11)	ΜΑΡ(11)	ΑΠΡ(11)	ΙΟΥΝ(11)	ΙΟΥΛ(11)	ΑΥΓ(11)
ΤΡΟΧΟΖΩΑ (ROTIFERA)									
<i>Anuraeopsis fissa</i>	•							•	
<i>Asplanchna</i> cf. <i>sieboldii</i>	•							•	
<i>Asplanchna priodonta</i>	•								
<i>Brachionus angularis</i>	•	•	•			•	•		
<i>Brachionus budapestinensis</i>	•	•	•	•					
<i>Brachionus calyciflorus</i>	•	•	•	•	•	•	•	•	
<i>Brachionus calyciflorus</i> f. <i>anuraeiformis</i>			•	•	•				
<i>Brachionus diversicornis</i>	•								
<i>Brachionus falcatus</i>	•								
<i>Brachionus forficula</i>	•	•		•					
<i>Brachionus ibericus</i>			•				•	•	•
<i>Brachionus</i> cf. <i>quadridentatus</i>								•	
<i>Brachionus urceolaris</i>						•	•		
<i>Euchlanis dilatata</i>						•		•	
<i>Filinia</i> cf. <i>terminalis</i>	•	•		•	•	•	•		
<i>Filinia cornuta</i>			•						

	ΑΥΓ(10)	ΣΕΠ(10)	ΝΟΕ(10)	ΦΕΒ(11)	ΜΑΡ(11)	ΑΠΡ(11)	ΙΟΥΝ(11)	ΙΟΥΛ(11)	ΑΥΓ(11)
<i>Hexarthra</i> sp.							•		
<i>Keratella cochlearis</i>	•								
<i>Keratella cochlearis</i> var. <i>tecta</i>	•							•	
<i>Keratella quadrata</i>			•			•	•		
<i>Lecane closterocerca</i>		•					•	•	
<i>Lecane quadridentata</i>								•	
<i>Lepadella</i> sp.				•			•	•	
<i>Liliferotrocha subtilis</i>	•							•	•
<i>Notholca striata</i> group				•	•				
<i>Polyarthra</i> sp.	•	•				•	•	•	
<i>Synchaeta</i> sp.			•	•	•	•		•	•
Άγνωστο								•	
<i>Trichocerca</i> sp.	•						•	•	
ΚΛΑΔΟΚΕΡΩΤΑ (CLADOCERA)									
<i>Alona rectangula</i>							•	•	
<i>Bosmina longirostris</i>	•	•	•						
<i>Diaphanosoma</i> sp.	•								
<i>Moina brachiata</i>	•								

4.6 Αφθονία Ζωοπλαγκτού

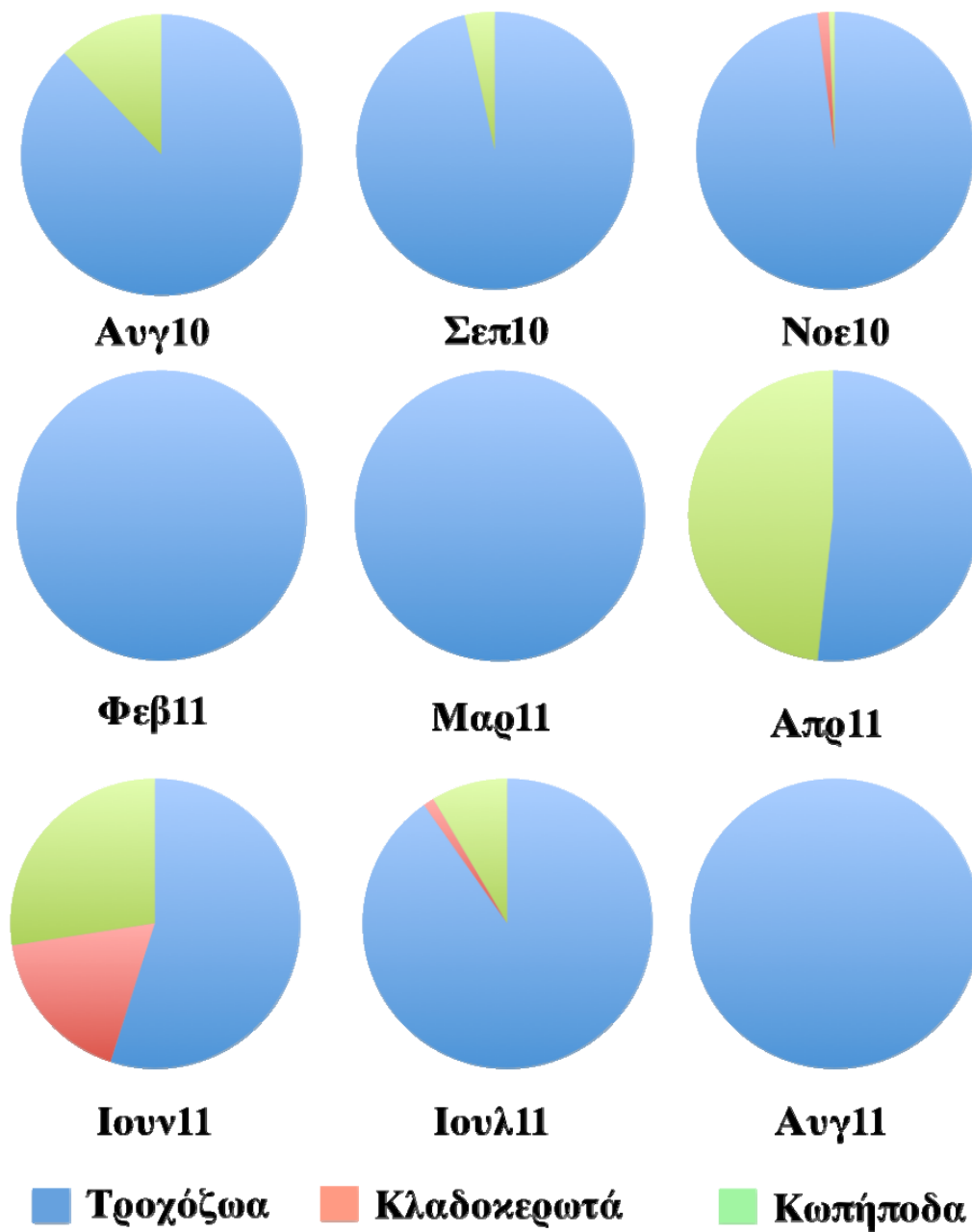
Στην Εικόνα 25 παρουσιάζεται η συνολική αφθονία (άτομα L^{-1}) του ζωοπλαγκτού στη Λίμνη Ισμαρίδα κατά την περίοδο έρευνας η οποία κυμάνθηκε από 3 έως 7490 άτομα L^{-1} . Η υψηλότερη τιμή καταγράφηκε τον Μάρτιο του 2011 και η χαμηλότερη τον Ιούλιο του 2011. Υψηλή ήταν η αφθονία τον Αύγουστο του 2011 (4895 άτομα L^{-1}) και τον Αύγουστο του 2010 (2282 άτομα L^{-1}), ενώ τους επόμενους μήνες κυμάνθηκε σε πιο χαμηλά επίπεδα (<1000 άτομα L^{-1}).



Εικόνα 25: Συνολική αφθονία (άτομα L^{-1}) του ζωοπλαγκτού (άξονας ψ) στο σταθμό ST1 στη Λίμνη Ισμαρίδα κατά την περίοδο έρευνας (άξονας χ)

Όλους τους μήνες, τα τροχοζώα ήταν η πολυπληθέστερη και πλέον κυρίαρχη ταξινομική ομάδα με συμμετοχή $>52\%$ στη συνολική αφθονία (Εικ. 26). Ωστόσο, διαφορετική ήταν η σύνθεση των κυρίαρχων τροχοζώων ανάμεσα στους μήνες. Συγκεκριμένα, τον Αύγουστο του 2010 στη ζωοπλαγκτική κοινωνία της λίμνης κυριάρχησε το είδος *Keratella cochlearis* (Εικ. 27) με συμμετοχή στη συνολική αφθονία 71% . Το Σεπτέμβριο του 2010, η κυριαρχία πέρασε στα είδη *Brachionus angularis* (44% επί της συνολικής αφθονίας) και *Brachionus forficula* (32%), ενώ το Νοέμβριο τα κυρίαρχα είδη ήταν τα *Synchaeta* sp. (47% επί της συνολικής αφθονίας), *Brachionus ibericus* (33%) και *Brachionus calyciflorus* (17%) (Εικ. 28). Τον Φεβρουάριο του 2011 το *Brachionus calyciflorus* ήταν το πλέον κυρίαρχο είδος στη ζωοπλαγκτική κοινωνία με 65% επί της συνολικής αφθονίας, ενώ ακολούθησαν με μικρότερα ποσοστά ($\sim 17\%$ επί της συνολικής αφθονίας) τα κυρίαρχα *Synchaeta* sp. και είδη του *Notholca striata* group. Το *Brachionus calyciflorus* εξακολούθησε να είναι το κυρίαρχο είδος με 100% επί της συνολικής αφθονίας τον Μάρτιο, ενώ τον Απρίλιο η κυριαρχία πέρασε στα είδη *Filinia* cf. *terminalis* (21% επί της συνολικής αφθονίας) και *Synchaeta* sp. (12%) (Εικ. 29). Τον Ιούνιο, το *Brachionus angularis* ήταν το κυρίαρχο από τα τροχοζώα στο ζωοπλαγκτό της λίμνης με 22% επί της

συνολικής αφθονίας. Τον Ιούλιο κυρίαρχο ήταν το *Polyarthra* sp. (23%), ενώ τον Αύγουστο ήταν τα *Brachionus ibericus* (50%) και *Synchaeta* sp. (49%).



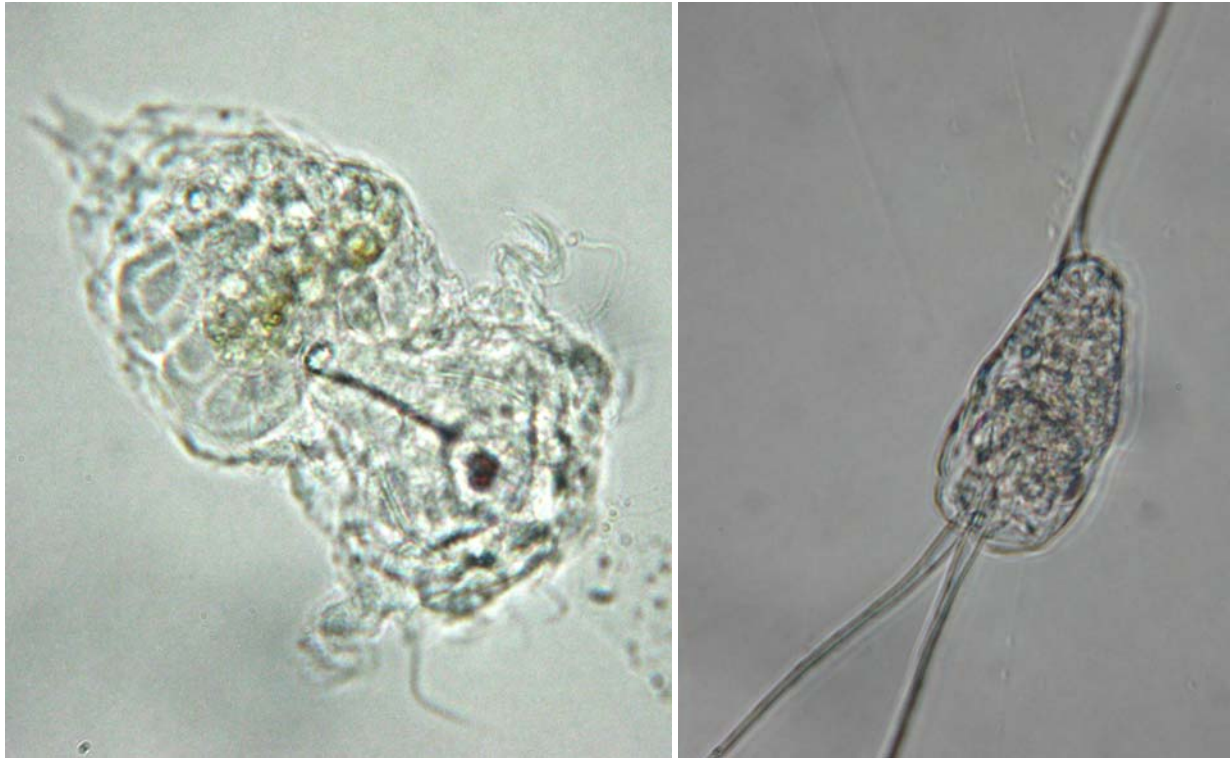
Εικόνα 26: Συμμετοχή των διαφόρων ταξινομικών ομάδων στη συνολική αφθονία του ζωοπλαγκτού στη Λίμνη Ισμαρίδα κατά την περίοδο έρευνας



Εικόνα 27: Μικροφωτογραφία του τροχόζωου *Keratella cochlearis* var. *tecta* στη Λίμνη Ισμαρίδα



Εικόνα 28: Μικροφωτογραφίες τροχόζωων στη Λίμνη Ισμαρίδα (α) *Brachionus calyciflorus* (β) *Brachionus angularis* (γ) *Brachionus forficula* (δ) *Brachionus ibericus*



Εικόνα 29: Μικροφωτογραφίες των τροχοζώων *Synchaeta* sp. (αριστερά) και *Filinia* cf. *terminalis* (δεξιά) στη Λίμνη Ισμαρίδα

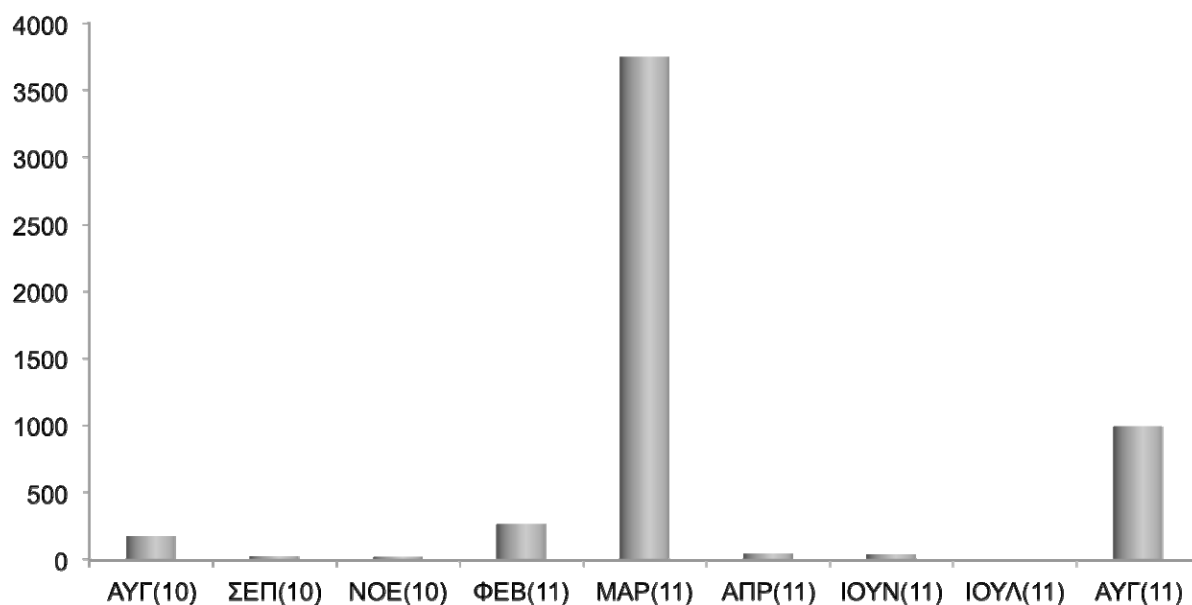
Τα κωπήποδα, ενώ τον Αύγουστο του 2010 συμμετείχαν με ποσοστό ~10% επί της συνολικής αφθονίας (κυρίαρχο το είδος *Thermocyclops* sp. με τα πιο άφθονα άτομα στο στάδιο του ναυπλίου) (Εικ. 30), κατά τη μετάβαση από τη θερμή περίοδο προς την ψυχρή η αφθονία τους μειώθηκε ώστε τους μήνες Φεβρουάριο και Μάρτιο του 2011 να φτάσει σε μηδενικά επίπεδα. Τον Απρίλιο ωστόσο, τα κωπήποδα άρχισαν να εμφανίζονται και να κυριαρχούν σε αριθμούς στη ζωοπλαγκτική κοινωνία της λίμνης ξανά με μοναδικό αντιπρόσωπο το *Thermocyclops* sp. με τα περισσότερα άτομα στο στάδιο του ναυπλίου. Οι αριθμοί τους στη συνέχεια μειώθηκαν ξανά με αποτέλεσμα μηδενικά επίπεδα ξανά τον Αύγουστο του 2011. Τα κλαδοκερωτά παρατηρήθηκαν σε πολύ χαμηλούς αριθμούς καθόλη την περίοδο με συμμετοχή <1% επί της συνολικής αφθονίας (Εικ. 26) με εξαίρεση τον Ιούνιο του 2011 όταν συμμετείχαν με ποσοστό 17% επί της συνολικής αφθονίας λόγω της αυξημένης παρουσίας του είδους *Alona rectangula*.



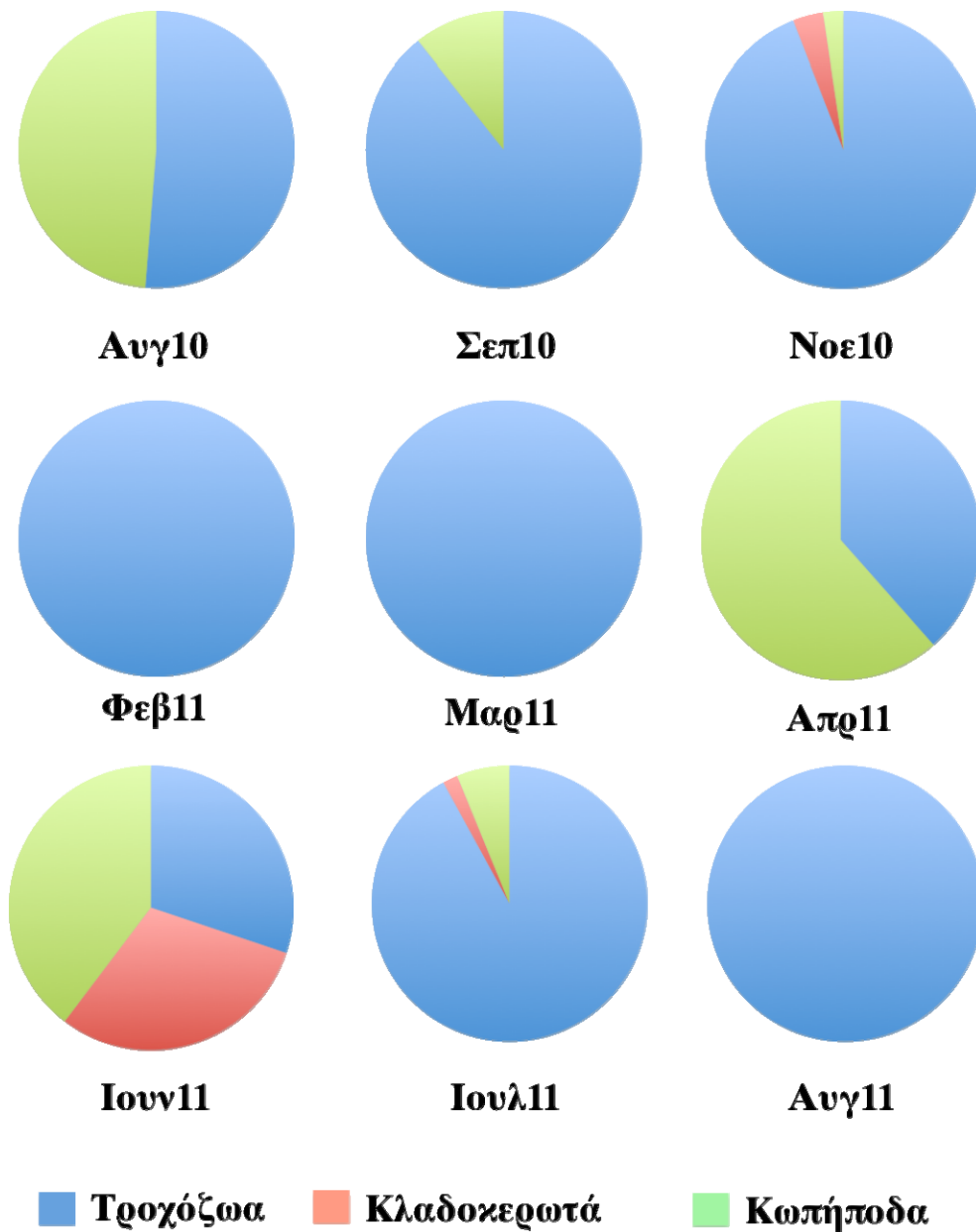
Εικόνα 30: Μικροφωτογραφία του κωπήποδου *Thermocyclops* sp. (ναύπλιος) με το επιζωϊκό ευγληνοφύκος *Colacium* sp. στη Λίμνη Ισμαρίδα

4.7 Βιομάζα Ζωοπλαγκτού

Στην Εικόνα 32 παρουσιάζεται η συνολική βιομάζα ($\mu\text{g L}^{-1}$) του ζωοπλαγκτού στη Λίμνη Ισμαρίδα κατά την περίοδο έρευνας, η οποία κυμάνθηκε από 0,7 έως 3745,2 $\mu\text{g L}^{-1}$. Η υψηλότερη τιμή καταγράφηκε τον Μάρτιο του 2011 και συνέπεσε με το μέγιστο της αφθονίας, ενώ η μικρότερη τιμή τον Ιούλιο.



Εικόνα 31: Συνολική βιομάζα ($\mu\text{g L}^{-1}$) (λογαριθμική κλίμακα) του ζωοπλαγκτού (άξονας ψ) στο σταθμό ST1 στη Λίμνη Ισμαρίδα κατά την περίοδο έρευνας (άξονας χ)



Εικόνα 32: Συμμετοχή των διαφόρων ταξινομικών ομάδων στη συνολική βιομάζα του ζωοπλαγκτού στη Λίμνη Ισμαρίδα κατά την περίοδο έρευνας

Από τον Αύγουστο του 2010 μέχρι και το Μάρτιο του 2011, τα τροχόζωα ήταν η κυρίαρχη ταξινομική ομάδα με συμμετοχή $>50\%$ στη συνολική βιομάζα (το Φεβρουάριο και τον Μάρτιο η συμμετοχή τους στη συνολική βιομάζα ήταν 100%) (Εικ. 32). Τον Απρίλιο και τον Ιούνιο, η κυριαρχία πέρασε στα κωπήποδα και στα κλαδοκερωτά αντίστοιχα. Επιπλέον, διαφορετική ήταν η σύνθεση των κυρίαρχων ειδών ανάμεσα στους μήνες. Συγκεκριμένα, τον Αύγουστο του 2010, είδη του γένους *Asplanchna* με συμμετοχή στη συνολική βιομάζα 27% κυριάρχησαν μαζί με το κωπήποδο *Thermocyclops* sp. στη ζωοπλαγκτική κοινωνία της λίμνης. Το Σεπτέμβριο, η κυριαρχία πέρασε στα είδη *Brachionus angularis* (13% επί της συνολικής βιομάζας), *Brachionus budapestinensis* (31%) και *Brachionus calyciflorus* (39%), ενώ το Νοέμβριο κυρίαρχο είδος ήταν το *Brachionus calyciflorus* (29% επί της συνολικής βιομάζας). Το *Brachionus calyciflorus* εξακολούθησε να είναι το κυρίαρχο είδος

στη ζωοπλαγκτική κοινωνία της λίμνης το Φεβρουάριο του 2011 (μαζί με το *Synchaeta* sp.-14% επί της συνολικής βιομάζας) και Μάρτιο με συμμετοχή 80% και 100% επί της συνολικής βιομάζας αντίστοιχα, ενώ τον Απρίλιο ήταν το τρίτο κατά σειρά μετά το κωπήποδο *Thermocyclops* sp. (60%) και το τροχόζωο *Synchaeta* sp.-(19%). Τον Ιούνιο, το πλέον κυρίαρχο στη βιομάζα εξακολούθησε να είναι το κωπήποδο *Thermocyclops* sp. (40%), με το κλαδοκερωτό *Alona rectangula* (30%) και το τροχόζωο *Hexarthra* sp. (13%) να ακολουθούν. Τον Ιούλιο, κυρίαρχο στη ζωοπλαγκτική κοινωνία της λίμνης ήταν είδη του γένους *Asplanchna* με ποσοστό 69% επί της συνολικής βιομάζας και τον Αύγουστο, κυρίαρχα ήταν τα τροχόζωα *Synchaeta* sp. (83%) και *Brachionus ibericus* (17%).

Γενικά η πλέον κυρίαρχη ομάδα και από άποψη βιομάζας στο ζωοπλαγκτό της λίμνης ήταν τα τροχόζωα. Τα κωπήποδα παρουσίασαν σημαντική συμμετοχή (49%) στη συνολική βιομάζα τον Αύγουστο του 2010 και τον Απρίλιο και Ιούνιο του 2011 (60% και 40%) με μοναδικό αντιπρόσωπο το *Thermocyclops* sp. (στο μεγαλύτερο ποσοστό στο στάδιο του ναύπλιου). Τα κλαδοκερωτά παρουσίασαν σημαντική συμμετοχή στη συνολική βιομάζα μόνο κατά τον Ιούνιο του 2011 (30%). Τους υπόλοιπους μήνες είτε απουσίαζαν (π.χ. Φεβρουάριος 2011) ή είχαν πολύ μικρή συμμετοχή (<10%) (π.χ. Νοέμβριος 2010).

5. ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΟΙΚΟΛΟΓΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

5.1 Καθορισμός συνθηκών αναφοράς για το φυτοπλαγκτό - Εισαγωγή

Σύμφωνα με την Οδηγία 2000/60/ΕΚ, στις συνθήκες αναφοράς (υψηλή οικολογική κατάσταση) οι παράμετροι του φυτοπλαγκτού αντανakλούν συνθήκες φυσικές για τον τύπο του υδάτινου σώματος δίχως ανθρωπογενή διαταραχή ενώ δεν δείχνουν ή ελάχιστα δείχνουν κάποια αλλαγή. Ειδικότερα, η ταξινομική σύνθεση δηλαδή όλα ή σχεδόν όλα τα είδη θα αντανakλούν συνθήκες αναφοράς και αν παρατηρηθούν τυχαία άλλα είδη, αυτά θα πρέπει να αποτελούνται από λίγα άτομα και να μη δείχνουν ανθρωπογενή διαταραχή. Η δομή μεγεθών της φυτοπλαγκτικής κοινωνίας, η αφθονία και η βιομάζα πρέπει επίσης να αντανakλούν συνθήκες αναφοράς. Η συχνότητα, η διάρκεια και η ένταση άνθισης φυτοπλαγκτού πρέπει να είναι στο εύρος για συνθήκες αναφοράς.

Ο καθορισμός των συνθηκών αναφοράς αποτελεί απαραίτητο βήμα για την ταξινόμηση της οικολογικής κατάστασης των υδάτων. Οι συνθήκες αναφοράς μπορούν να προσδιορισθούν με τη χρήση χωρικών μεθόδων (δεδομένα φυτοπλαγκτού από τον τύπο της λίμνης σε υψηλή κατάσταση), χρονικών μεθόδων (παλαιο-οικολογικά δεδομένα, μεγάλες χρονοσειρές), προσομοιώσεων καθώς και εισηγήσεων εμπειρογνομόνων ή και το συνδυασμό των παραπάνω. Επιπλέον, σύμφωνα με τα στοιχεία της άσκησης διαβαθμονόμησης υπάρχουν επαρκή τυπο-χαρακτηριστικά στοιχεία για το φυτοπλαγκτό δύο τύπων μεσογειακών φραγμαλισμένων ενώ δεν υπάρχουν για φυσικές μεσογειακές λίμνες.

Το φυτοπλαγκτό αποτελεί το βιολογικό στοιχείο που έχει επιλεγεί πρώτο για τη διαβαθμονόμηση στην εκτίμηση της οικολογικής κατάστασης λιμνών και φραγμαλισμένων της Ευρώπης. Οι μέχρι σήμερα παράμετροι-metrics που έχουν χρησιμοποιηθεί είναι: α) βιομάζας: συγκέντρωση χλωροφύλλης α και βιοόγκος, β) σύνθεσης: ποσοστιαία συμμετοχή κυανοβακτηρίων στη συνολική βιομάζα φυτοπλαγκτού, ο δείκτης Catalan, ενώ δεν έχει προσδιορισθεί αν θα χρησιμοποιηθεί και πώς η άνθιση του φυτοπλαγκτού.

5.2 Η θεωρητική προσέγγιση για τον καθορισμό συνθηκών αναφοράς

Κύρια πίεση στις λίμνες των Μεσογειακών χωρών, όπως και στην περίπτωση της Ισμαρίδας, αποτελεί η αύξηση των φορτίων θρεπτικών. Τα αυξημένα φορτία αποτελούν τα αίτια του φαινομένου του ευτροφισμού, δηλαδή της αυξημένης παραγωγής οργανικού υλικού από το φυτοπλαγκτό και στα μακρόφυτα που έχει ως συνέπεια αλλαγές στις βιοκοινότητες και στο τροφικό πλέγμα με αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας του νερού. Ακόμη, ενίσχυση του ευτροφισμού από την κορυφή προς τη βάση μπορεί να έχει προκύψει είτε από εμπλουτισμούς των λιμνών με πλαγκτοφάγα ψάρια είτε με υπεραλίευση των

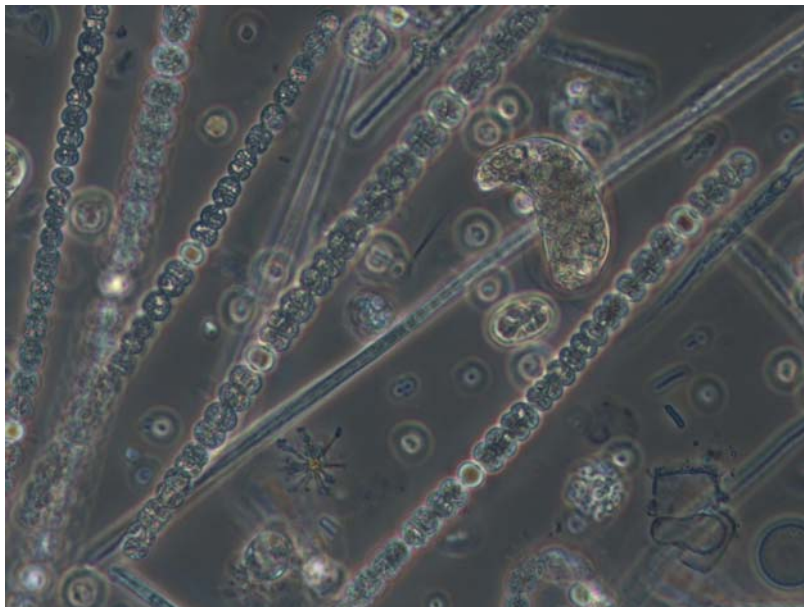
ιχθυοφάγων ψαριών. Τέλος, υδρο-μορφολογικές αλλαγές (π.χ. μείωση βάθους λίμνης, μεταβολή στάθμης νερού) μπορεί να προκαλούν και να προάγουν τον ευτροφισμό. Ως εκ τούτου οι καταλληλότερες παράμετροι του φυτοπλαγκτού που εκφράζουν τις πιέσεις και τις διαταραχές αυτές από τη φυσική κατάσταση θα πρέπει να είναι παράμετροι άμεσης απόκρισης στον ευτροφισμό.

Η πρώτη παράμετρος άμεσης απόκρισης εξορισμού (λειτουργικός και όχι ετυμολογικός ορισμός του ευτροφισμού) είναι η αύξηση της πρωτογενούς παραγωγής δηλαδή η επιταχυνόμενη αύξηση της φυτοπλαγκτικής βιομάζας στη στήλη νερού. Η βιομάζα (βιοόγκος) φυτοπλαγκτού είναι και η μόνη παράμετρος στη διεθνή βιβλιογραφία που θεωρείται ότι μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην πρόβλεψη των μεταβολών με την αλλαγή τροφικής κατάστασης. Ο βιοόγκος φυτοπλαγκτού αν και ποσοτική παράμετρος συνεισφέρει και στην ποιοτική προσέγγιση της κοινωνίας του φυτοπλαγκτού διότι εμπεριέχει στον υπολογισμό του την ταξινομική σύνθεση και το μέγεθος των φυτοπλαγκτικών οργανισμών. Και αυτό διότι για να προσδιοριστεί ο συνολικός βιοόγκος φυτοπλαγκτού πρέπει να προηγηθεί ο προσδιορισμός του βιοόγκου κάθε είδους που συμμετέχει στη φυτοπλαγκτική κοινωνία μιας λίμνης. Αυτό προϋποθέτει την ταξινομική αναγνώριση κάθε είδους, την καταμέτρηση των ατόμων του κάθε είδους για τον υπολογισμό της αφθονίας καθώς και των διαστάσεων, των μεγεθών δηλαδή των ατόμων του κάθε είδους.

Άλλωστε στις λίμνες, η πιο εμφανής συνέπεια του ανθρωπογενούς ευτροφισμού είναι η άνθιση του νερού (Εικ. 1 εικόνα άνθισης νερού στην Ισμαρίδα), ειδική περίπτωση άνθισης φυτοπλαγκτού, από τη συσσώρευση μεγάλου βιοόγκου κυανοβακτηρίων (Εικ. 2) τα οποία είτε λόγω μεγέθους ή λόγω παραγωγής τοξινών δεν αποτελούν την τροφή του ζωοπλαγκτού αλλά τα «αποφάγια». Με όλα τα παραπάνω φαίνεται η σύνδεση των παραμέτρων φυτοπλαγκτού που προτείνονται από την Οδηγία όπως: σύνθεση (ποικιλότητα ειδών, συμμετοχή κυανοβακτηρίων - μεγάλου μεγέθους φυτοπλαγκτικοί οργανισμοί), βιοόγκος, αφθονία και άνθιση φυτοπλαγκτού. Γίνεται φανερό ότι η παράμετρος βιοόγκος είναι η βασική παράμετρος φυτοπλαγκτού με τη μεγαλύτερη και καταλληλότερη πληροφορία για τον χαρακτηρισμό ενός υδάτινου σώματος και ως εκ τούτου μπορεί να έχει το μεγαλύτερο συντελεστή βαρύτητας στην ταξινόμηση.



Εικόνα 1: Φαινόμενο άνθισης φυτοπλαγκτού στη Λίμνη Ισμαρίδα



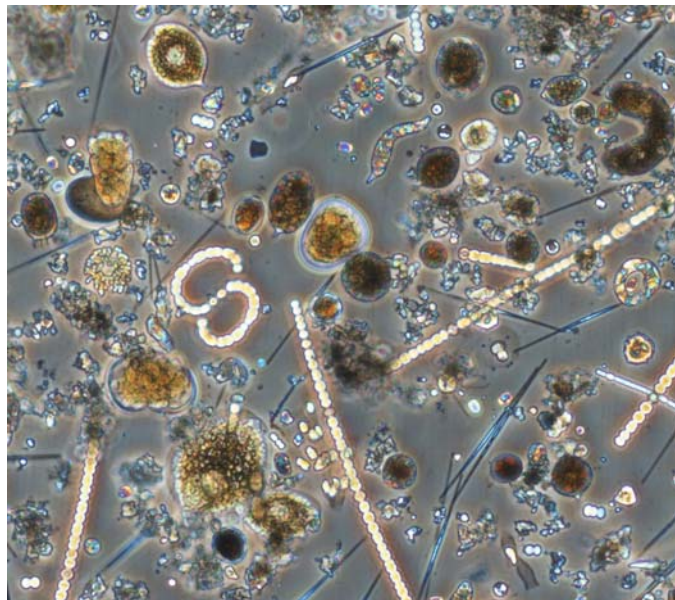
Εικόνα 2: Μικροφωτογραφία από κυανοβακτήρια κατά τη διάρκεια φαινομένου άνθισης νερού στη Λίμνη Ισμαρίδα

Όμως, θα πρέπει να εξεταστεί και η άλλη παράμετρος βιομάζας φυτοπλαγκτού, η συγκέντρωση της χλωροφύλλης *a*, που θεωρείται και η κοινή παράμετρος φυτοπλαγκτού όλων των τύπων λιμνών στην Ευρώπη. **Η συγκέντρωση της χλωροφύλλης *a* στο νερό αποτελεί εκτιμήτρια παράμετρο της βιομάζας φυτοπλαγκτού και ως τέτοια θα πρέπει να αξιολογείται.** Είναι γνωστό ακόμη και από τα μοντέλα του ευτροφισμού του OECD, στα οποία χλωροφύλλη *a* και ολικός φώσφορος είναι κυρίαρχες παράμετροι, ότι για να γίνει εκτίμηση (διάστημα εμπιστοσύνης 95%) με βάση τη χλωροφύλλη για ένα σύστημα δίχως επικάλυψη, θα πρέπει οι λίμνες να διαφέρουν ως προς ολικό φωσφόρο τουλάχιστον μία τάξη μεγέθους. Αυτό έχει φανεί και από τα αποτελέσματα της έρευνας στα Ελληνικά υδάτινα σώματα, ιδιαίτερα στα

μεταβατικά, όπου η περιεχόμενη χλωροφύλλη ανά μονάδα βιοόγκου του φυτοπλαγκτού μπορεί να παρουσιάζει μεταβλητότητα έως τρεις τάξεις μεγέθους ανεξαρτήτως εποχικότητας (Moustaka-Gouni αδημοσίευτα δεδομένα). Ως παράμετρος, σύμφωνα με την Οδηγία, θεωρούμε ότι μπορεί να δημιουργήσει σύγχυση στην αξιολόγηση εάν δεν συνοδεύεται από μικροσκοπική ανάλυση (Moustaka-Gouni 1989). Και όλα αυτά είναι γνωστά καθόσον η περιεχόμενη στο φυτοπλαγκτό χλωροφύλλη εξαρτάται από τη σύνθεση των ειδών, το μέγεθος των οργανισμών, τις περιβαλλοντικές συνθήκες. Συμπερασματικά, η χλωροφύλλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως παράμετρος με την προϋπόθεση ότι είναι γνωστή η σύνθεση του φυτοπλαγκτού και των αιωρούμενων σωματιδίων στο νερό (μικροσκοπική ανάλυση).

Εδώ πρέπει να τονιστεί ότι η εύρεση, ανάπτυξη μιας νέας αξιόπιστης και ισχυρής μεθόδου προσδιορισμού της βιομάζας του φυτοπλαγκτού πέραν της κλασικής του ανάστροφου μικροσκοπίου (που απαιτεί υψηλή εξειδίκευση και είναι χρονοβόρα) θεωρείται στην έρευνα στη Λιμνολογία και στην Ωκεανογραφία κάτι τόσο δύσκολο όσο η εύρεση του «Άγιου Δισκοπότηρου». Επειδή η χλωροφύλλη *a* βρίσκεται σε όλους τους οργανισμούς του φυτοπλαγκτού αλλά και επειδή ο προσδιορισμός της συγκέντρωσής της στο νερό είναι γρήγορος και εύκολος έχει βρει ευρύτατη εφαρμογή στην παρακολούθηση των χαρακτηριστικών του νερού. Αυτό όμως έχει οδηγήσει στο να θεωρείται η συγκέντρωση της χλωροφύλλης *de facto* και βιομάζα - βιοόγκος φυτοπλαγκτού. Δεν υπάρχει αμφιβολία ότι οι μετρήσεις της συγκέντρωσης της χλωροφύλλης έχουν τη δική τους μεγάλη αξία αλλά το πρόβλημα προκύπτει όταν τα δεδομένα της χλωροφύλλης μετονομάζονται σε βιοόγκο φυτοπλαγκτού, σε κάτι δηλαδή, που δεν είναι.

Όσον αφορά στην παράμετρο αφθονία φυτοπλαγκτού, αυτή εμπεριέχεται στο βιοόγκο του φυτοπλαγκτού καθόσον η μέθοδος προσδιορισμού του βιοόγκου προϋποθέτει γνώση της πληθυσμιακής πυκνότητας κάθε είδους, δηλαδή της αφθονίας κάθε είδους ξεχωριστά αλλά και της συνολικής αφθονίας (άτομα, κύτταρα). Η αξιολόγηση των τιμών της αφθονίας μπορεί να γίνει μόνο με γνώση της σύνθεσης των επί μέρους ειδών της φυτοπλαγκτικής κοινωνίας. Αυτό σημαίνει γνώση των μεγεθών των ατόμων (Εικ. 3).



Εικόνα 3: Μικροφωτογραφία από φυτοπλαγκτικούς μικροοργανισμούς διαφορετικών μεγεθών στη Λίμνη Ισμαρίδα

Για να γίνει αντιληπτό αυτό αναφέρουμε το ακόλουθο παράδειγμα από το φυτοπλαγκτό της Λίμνης Ισμαρίδας, της αντιστοιχίας ανάμεσα στο μέσο όγκο ενός ατόμου μεγάλου μεγέθους οργανισμού π.χ. του *Peridinium* sp. ($80000 \mu\text{m}^3$) και στον απαραίτητο αριθμό κυττάρων ειδών νανοπλαγκτού (διαστάσεις $<20 \mu\text{m}$), που ισοδυναμούν σε ίσο όγκο με αυτόν (Πιν. 1):

Πίνακας 1: Αριθμός κυττάρων ειδών νανοπλαγκτού διαφορετικών μεγεθών στη Λίμνη Ισμαρίδα, που αντιστοιχούν στο μέσο όγκο ενός ατόμου μεγάλου μεγέθους οργανισμού π.χ. του *Peridinium* sp. ($80000 \mu\text{m}^3$). Στην παρένθεση αναφέρεται ο μέσος κυτταρικός όγκος του αντίστοιχου είδους

5360 κύτταρα του	<i>Chrysochromulina parva</i>	($15 \mu\text{m}^3$)
900 κύτταρα του	<i>Rhodomonas minuta</i>	($90 \mu\text{m}^3$)
230 κύτταρα του	<i>Dinobryon sertularia</i>	($350 \mu\text{m}^3$)
25 κύτταρα του	<i>Stephanodiscus</i> sp.	($3200 \mu\text{m}^3$)

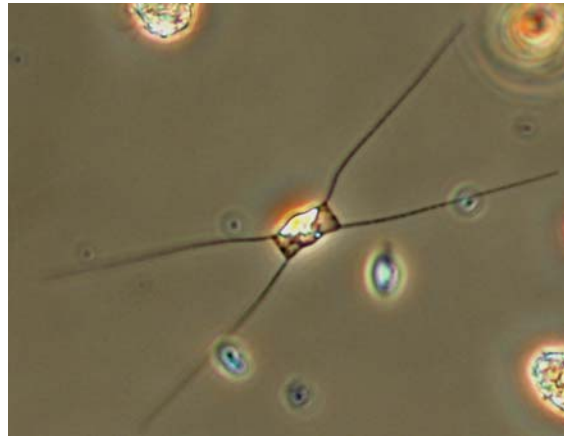
Με βάση το παράδειγμα αυτό είναι ευκολότερο να καθορίσουμε τι είναι άνθιση φυτοπλαγκτού. Η άνθιση θα πρέπει να έχει ένα μέγεθος και αυτό είναι η αφθονία (πληθυσμιακή πυκνότητα) του οργανισμού (συνήθως ένας) ή των οργανισμών που τη σχηματίζουν. Είναι απαραίτητο να καθοριστεί διαφορετική πληθυσμιακή πυκνότητα για διαφορετικού μεγέθους ή βιοόγκου οργανισμούς. Για παράδειγμα, στην Ισμαρίδα για ένα ευγληνοφύκος βιοόγκου $20000 \mu\text{m}^3$ μπορεί να θεωρηθεί άνθιση φυτοπλαγκτού ακόμη και πληθυσμιακή πυκνότητα 100 ατόμων στο ml, αφού αυτή αντιστοιχεί με ίδιο βιοόγκο ενός νανομαστιγωτού $20 \mu\text{m}^3$ με πληθυσμιακή πυκνότητα 100000 άτομα στο ml.

Όσον αφορά στις παραμέτρους σύνθεσης του φυτοπλαγκτού σύμφωνα με τη διαβαθμονόμηση θα πρέπει να καθοριστεί η συμμετοχή των κυανοβακτηρίων στο συνολικό βιοόγκο. Αποτελεί παράμετρο ποιοτική και ποσοτική ταυτόχρονα. Έχει ιδιαίτερη σημασία διότι

συνδέεται με τις διαταραχές του τροφικού πλέγματος, την οικολογική ισορροπία μιας λίμνης αλλά και τη δημόσια υγεία από τις χρήσεις της λίμνης. Και αυτό διότι η χρήση νερού στο οποίο κυριαρχούν τοξικά κυανοβακτήρια εγκυμονεί κινδύνους για τον άνθρωπο. Ως εκ τούτου ο καθορισμός συνθηκών αναφοράς με βάση τη συμμετοχή των κυανοβακτηρίων θα συνδέεται και με τις κατευθυντήριες γραμμές του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας για ασφαλή χρήση νερού.

Όσον αφορά στο δείκτη σύνθεσης φυτοπλαγκτού Catalan αποτελεί ένα ταξινομικό δείκτη με οικολογική χροιά αφού η ομάδα των κυανοβακτηρίων έχει τον υψηλότερο συντελεστή 4. Όμως, η απουσία ολόκληρων ομάδων φυτοπλαγκτού στο δείκτη περιορίζει την εφαρμογή του σε ορισμένες μόνο λίμνες. Για παράδειγμα, στην Ισμαρίδα, όπου τα ευγληνοφύκη, αποφύκη και τα συζυγή φύκη είναι παρόντα και άφθονα, ο δείκτης αυτός δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί.

Όσον αφορά στην ταξινομική σύνθεση του φυτοπλαγκτού, η χρήση ειδών και αθροισμάτων για τον καθορισμό συνθηκών αναφοράς δεν είναι ασφαλής διότι: λίμνες διαφορετικής τροφικής κατάστασης παρουσιάζουν ομοιότητες στη σύνθεση, ενώ λίμνες της ίδιας τροφικής κατάστασης μπορεί να διαφέρουν στη σύνθεση. Κυρίαρχο ρόλο διαδραματίζουν οι υδρομορφολογικές συνθήκες, ιδιαίτερα σημαντικές στην περίπτωση της Ισμαρίδας. Το πολύ μικρό βάθος της λίμνης, η κατά περιόδους επικοινωνία με τη θάλασσα μπορεί να τη διαφοροποιεί ως προς τη σύνθεση φυτοπλαγκτού σημαντικά κατά περιόδους από λίμνες της ίδιας τροφικής κατάστασης με συμμετοχή ακόμη και με είδη του θαλάσσιου φυτοπλαγκτού (Εικ. 4).



Εικόνα 4: Μικροφωτογραφία από το θαλάσσιο φυτοπλαγκτικό μικροοργανισμό *Chaetocheros mulleri* στη Λίμνη Ισμαρίδα

Ακόμη, κυρίαρχο ρόλο στη σύνθεση του φυτοπλαγκτού στην Ισμαρίδα διαδραματίζουν τα άφθονα και εκτεταμένα στο μεγαλύτερο μέρος της λίμνης υδρόβια φυτά (βυθισμένα, επιπλέοντα και αναδυόμενα από το νερό) εκτός από τους καλαμώνες. Αφενός, η ανταγωνιστική τους σχέση (φυτοπλαγκτό – μακρόφυτα) για φως και θρεπτικά και αφετέρου, η παραγωγή τεράστιας βιομάζας νεκρού φυτικού υλικού από τα μακρόφυτα συμβάλλουν στον καθορισμό της σύνθεσης του φυτοπλαγκτού πέρα από τους γνωστούς λιμνολογικούς παράγοντες. Για

παράδειγμα, η τεράστια ποικιλότητα ειδών ευγληνοφυκών (42 είδη), η οποία δεν έχει παρατηρηθεί σε καμία άλλη λίμνη της Ελλάδας και σπανίως έχει αναφερθεί σε παγκόσμια κλίμακα, σχετίζεται με την παραγωγή τεράστιας ποσότητας νεκρού οργανικού υλικού στην Ισμαρίδα. Και αυτό διότι το νεκρό υλικό άμεσα ως σωματιδιακό οργανικό υλικό ή έμμεσα ως υπόστρωμα για άφθονα βακτήρια αποτελεί τροφή των ευγληνοφυκών τα οποία στην πλειονότητά τους είναι μιξότροφα (δηλαδή φωτοσυνθετικά και φαγότροφα).

Η χρήση των ειδών ή ανώτερων ταξινομικών μονάδων φυτοπλαγκτού για την εκτίμηση της ποιότητας του νερού έχει μεγάλη ιστορία τα τελευταία πενήντα χρόνια. Όμως υπάρχουν ακόμη δυσκολίες στις γενικεύσεις και αυτό συνδέεται με τη δυναμική της διαδοχής του φυτοπλαγκτού και τους παράγοντες που επιδρούν. Από τα μέσα του περασμένου αιώνα γνωρίζαμε ότι τα Συζυγή και τα Χρυσοφύκη αποτελούν δείκτες ολιγότροφης κατάστασης ενώ τα κυανοβακτήρια δείκτη ευτροφισμού. Εκτός από τα προαναφερθέντα, η καλύτερη προσέγγιση φαίνεται ότι είναι να ενοχοποιηθούν οι λειτουργικές ομάδες φυτοπλαγκτού (είδη και αθροίσματα) που απαντώνται σχεδόν αποκλειστικά σε συστήματα υποβαθμισμένα και η απουσία τους από ένα τύπο λίμνης να υποστηρίζει τις παραμέτρους συνθηκών αναφοράς. Ακόμη, η κυρίαρχη συμμετοχή στο συνολικό βιοόγκο ειδών ευαίσθητων σε υψηλά επίπεδα θρεπτικών μπορεί να εκτιμηθεί.

Τέλος, ο συνολικός αριθμός ειδών φυτοπλαγκτού αν και δεν παρουσιάζει γραμμική σχέση με την μεταβολή της τροφικής κατάστασης συνήθως είναι μικρός στις ολιγότροφες και υπερεύτροφες λίμνες, έχει δική του λειτουργική αξία για το σύστημα και θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη όταν γίνεται η ταξινόμηση και το σύστημα παρουσιάζει οικολογική κατάσταση κάτω της μέτριας. Ο αριθμός ειδών του φυτοπλαγκτού ή η βιοποικιλότητά του σχετίζεται με την αφθονία διαφορετικών οικο-θέσεων στο χώρο και στο χρόνο, τη σταθερότητα και «πλαστικότητα» του οικοσυστήματος, την αδράνεια του συστήματος στις διαταραχές και στις μεταβολές και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να εκτιμηθεί η φέρουσα ικανότητα του συστήματος για εφικτή αποκατάσταση στο μέλλον.

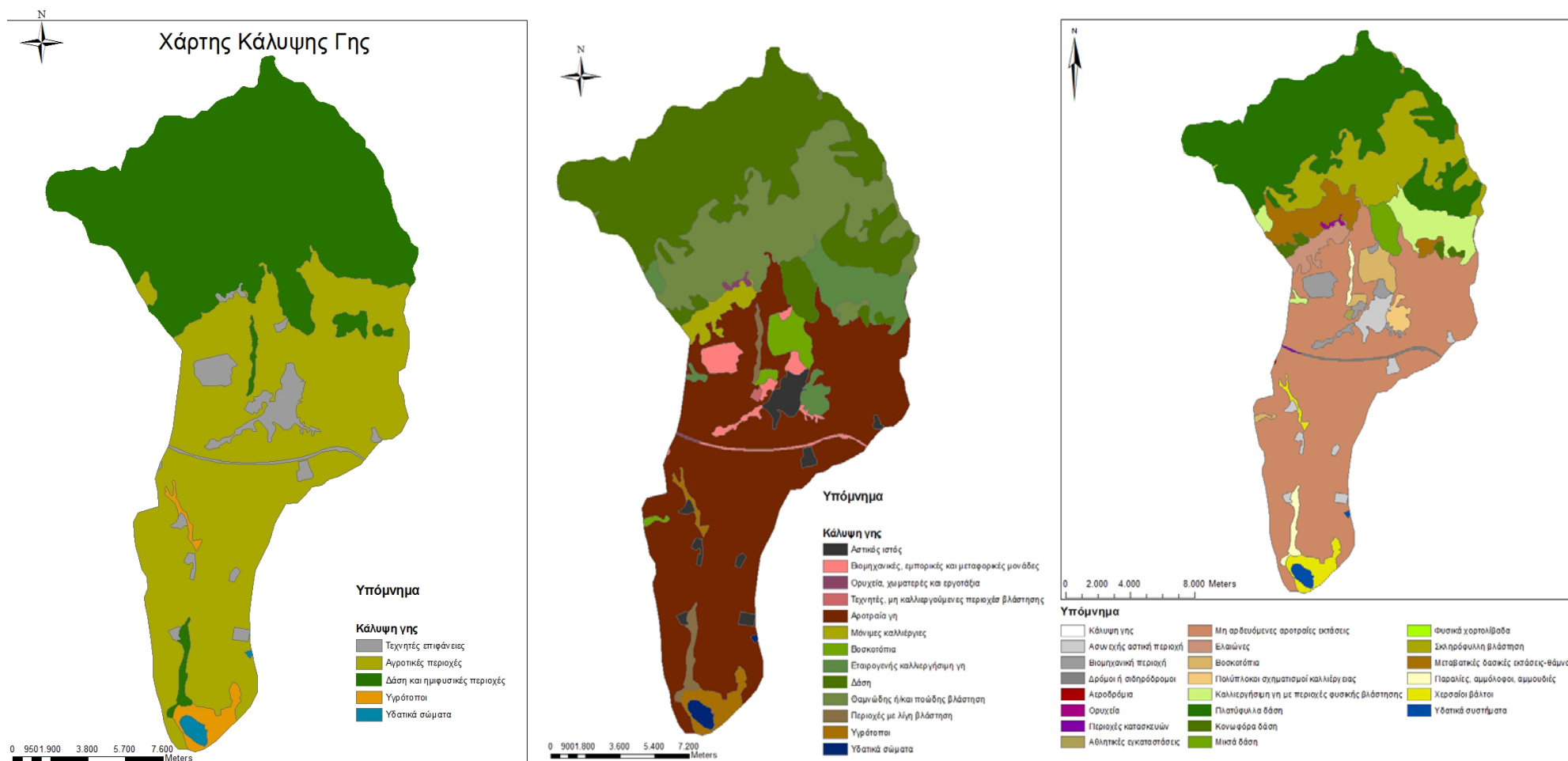
Ο συνολικός αριθμός ειδών από τα κυανοβακτήρια και τα χλωροφύκη στις περισσότερες Ελληνικές εύτροφες λίμνες αποτελεί περισσότερο από το 50% του συνολικού αριθμού ειδών. Σε λίμνες με συνθήκες αναφοράς το ποσοστό αυτό θα πρέπει κατά κανόνα να είναι μικρότερο από 50% ενώ ο αριθμός χρυσοφυκών, συζυγών, διατόμων και δινοφυκών θα πρέπει κατά κανόνα να αποτελεί ποσοστό >40%. Ακόμη μια σχέση αριθμού ειδών χρυσοφυκών > αριθμού ειδών κυανοβακτηρίων, εφόσον παρατηρηθεί, υποστηρίζει τις συνθήκες αναφοράς.

5.3 Συνθήκες αναφοράς για τη Λίμνη Ισμαρίδα - Γενικά

Τύπος λίμνης: χαμηλού υψομέτρου, μέτριας επιφάνειας με πολύ μεγάλης έκτασης λεκάνη απορροής, πολύ μικρού βάθους, ολομικτικού τύπου συνεχούς ανάμειξης, με ιδιαίτερο υδρολογικό καθεστώς (μεταβλητότητα στη στάθμη και στο χρόνο παραμονής του νερού), με επέκταση στη λίμνη των μακρόφυτων και με τεχνητή απορροή - διάυλο επικοινωνίας με τη θάλασσα, υγρού μεσόθερμου κλίματος με άνομβρη περίοδο το καλοκαίρι.

Στην Ευρώπη, λίμνες με συνθήκες αναφοράς βρίσκονται σε περιοχές σε μεγάλα υψόμετρα και μεγάλα γεωγραφικά πλάτη, αραιοκατοικημένες, με εκτατική και όχι εντατική γεωργική καλλιέργεια, είναι λίμνες στις οποίες οι πιέσεις από μορφολογικές αλλοιώσεις είναι ασήμαντες. Για τις περισσότερες οικο-περιοχές της Ευρώπης είναι ελάχιστες οι λίμνες με ασήμαντες πιέσεις και ως εκ τούτου είναι ελάχιστα τα διαθέσιμα δεδομένα για τον καθορισμό συνθηκών αναφοράς με βάση τη χωρική μέθοδο. Αυτό ισχύει και για το βιολογικό στοιχείο φυτοπλαγκτό. Έτσι, ο καθορισμός συνθηκών αναφοράς στηρίζεται στην πλειονότητα των λιμνών στην εισήγηση εμπειρογνώμονα.

Σε σχέση με τις πιέσεις που δέχεται η Ισμαρίδα, η οποία με έκταση 1.419 km², δηλαδή καταλαμβάνει μόνο το 0.443 % της επιφάνειας της λεκάνης απορροής της, έχουμε εκτιμήσει τις πιέσεις από μορφολογικές αλλοιώσεις. Ο προσδιορισμός της κάλυψης γης έγινε σύμφωνα με το πρόγραμμα Corine Land Cover 2000 και με την εφαρμογή αυτή φαίνεται ότι οι πιέσεις στην Ισμαρίδα από μορφολογικές αλλοιώσεις είναι σημαντικές (σε τρία διαφορετικά επίπεδα αναλύσεις στην Εικ. 5). Συγκεκριμένα, οι αγροτικές εκτάσεις καλύπτουν το 48.22 % της ολικής έκτασης της λεκάνης απορροής (περισσότερο από 40% είναι σημαντικές σύμφωνα με LAWA, 2002) και η κάλυψη των αστικών περιοχών καταλαμβάνει έκταση ίση με 4.2 % της ολικής έκτασης της λεκάνης απορροής (μεγαλύτερη από το 2.5% είναι σημαντική σύμφωνα με Environment Agency, 2005).



Εικόνα 5: Απεικόνιση της λεκάνης απορροής της Λίμνης Ισμαρίδας όπου φαίνονται οι διαφορετικές χρήσεις γης σύμφωνα με το Corine Land Cover 2000

Η Λίμνη Ισμαρίδα αποτελεί αποδέκτη των επεξεργασμένων αστικών λυμάτων της πόλης της Κομοτηνής. Η μείωση του βάθους και του όγκου νερού της λίμνης φαίνεται ότι προκαλείται και από τις προσχώσεις λόγω υψηλών φορτίων φερτών στη λίμνη. Με τη μείωση του βάθους της λίμνης παρατηρείται και αύξηση του πλημμυρικού της πεδίου κατά τους χειμερινούς μήνες (Πισινάρας 2003). Σημαντικό πρόβλημα της λίμνης είναι η επέκταση των καλαμώνων εις βάρος του ελεύθερου όγκου νερού σε μεγάλο μέρος της επιφάνειας της λίμνης, που δημιουργεί ένα ιδιαίτερο σύστημα. Προσπάθειες περιορισμού των καλαμώνων με την καύση (φωτιά) δεν φαίνεται να έχουν αποτέλεσμα (Εικ. 6).



Εικόνα 6: Επάνω: Καύση καλαμώνων στο δυτικό τμήμα της Λίμνης Ισμαρίδας Κάτω: Η ίδια περιοχή ένα μήνα μετά (Φεβρουάριος-Μάρτιος 2011)

Η μείωση της ελεύθερης επιφάνειας της λίμνης την τελευταία εικοσαετία ήταν πολύ μεγάλη (54.3 %) με ταυτόχρονη τεράστια αύξηση της επιφάνειας που καλύπτεται από υπερυδατική βλάστηση (361.8 %, από Παναγιωτοπούλου κ.α. 2011). Το βάθος της λίμνης είναι καθοριστικό και για την επιβίωση και ανάπτυξη των βυθισμένων, επιπλέοντων και αναδυομένων μακροφύτων. Το βάθος και το πλημμυρικό πεδίο της λίμνης προσδιορίζουν και τους τύπους των μακρόφυτων που αναπτύσσονται και κυριαρχούν, τη μεγάλη, σχεδόν καθολική κάλυψη της επιφάνειας από μακρόφυτα με ταυτόχρονη ανάπτυξη του χλωροφύκου *Cladophora* cf. *glomerata* (Εικ. 7) την άνοιξη, από μακρόφυτα με επιπλέοντα φύλλα όπως του είδους *Trapa natans* κατά τη θερμή περίοδο (Εικ. 8) και τις αλληλεπιδράσεις των φυτοκοινωνιών των μακροφύτων με τη φυτοπλαγκτική κοινωνία.



Εικόνα 7: Μακρόφυτα με ταυτόχρονη ανάπτυξη του χλωροφύκου *Cladophora* cf. *glomerata*



Εικόνα 8: Μακρόφυτα συμπεριλαμβανομένου του είδους *Trapa natans* στη Λίμνη Ισμαρίδα

Ο καθορισμός των συνθηκών αναφοράς στη Λίμνη Ισμαρίδα στηρίζεται σε οικολογικά κριτήρια με εισήγηση εμπειρογνώμονα καθώς τα αποτελέσματα της χωρικής μεθόδου της παρούσας έρευνας φυτοπλαγκτού δεν υποστηρίζουν συνθήκες αναφοράς. Δεν υπάρχουν χρονοσειρές δεδομένων, διαθέσιμα παλαιο-οικολογικά δεδομένα και γενικότερα δεδομένα για μαθηματική προσομοίωση. Η μέθοδος εισήγησης εμπειρογνώμονα θεωρείται υποκειμενική με αποκλίσεις και κυρίως ημι-ποσοτική, στατική και δίχως διαφάνεια ως προς τους κανόνες που ακολουθούνται. Στην παρούσα έρευνα γίνεται προσπάθεια να μειωθούν όλες οι προαναφερθείσες αδυναμίες της μεθόδου, παρέχοντας διαφάνεια αναλύοντας τη θεωρητική προσέγγιση, δίνοντας ποιοτικά και ποσοτικά στοιχεία με εύρος τιμών. Ακόμη εκτιμώνται τα αποτελέσματα της χωρικής μεθόδου και μόνο βοηθητικά χρησιμοποιείται η αναφορά σε σύνθεση δείγματος διχτυού πλαγκτού από τον Stankovic (1931) για τη ρηχή γειτονική λίμνη Δοϊράνη και η εργασία του Bruno Schröder για τις λίμνες της Μακεδονίας συμπεριλαμβανομένης της Δοϊράνης, όπου περιέχεται κατάλογος των ειδών του φυτοπλαγκτού από δείγματα που συλλέχθηκαν τα έτη 1891 και 1918 (Schröder 1921). Τα στοιχεία αυτά αν και αφορούν μόνο στη σύνθεση (ποιοτική) του μικρο-φυτοπλαγκτού (πλαγκτό διχτυού) γειτονικής λίμνης είναι και τα μοναδικά τέτοιας περιόδου και μοναδικής ιστορικής αξίας.

5.4 Συνθήκες αναφοράς για τη Λίμνη Ισμαρίδα – Κανόνες & Οικολογικά κριτήρια

Με βάση όσα προηγήθηκαν, οι κανόνες και τα οικολογικά κριτήρια που ακολουθούνται στον καθορισμό των συνθηκών αναφοράς της Ισμαρίδας παρουσιάζονται παρακάτω, ενώ η πρόβλεψη για το παρελθόν και το μέλλον δεν είναι βέβαιη όχι μόνο α) εξαιτίας των ελάχιστων διαθέσιμων

δεδομένων τα οποία αποκλειστικά προέρχονται από την έρευνα αυτή αλλά και β) της τεράστιας κάλυψης της λίμνης από μακροφυτική βλάστηση που καθιστά ιδιαίτερο το υδάτινο αυτό σώμα καθώς και γ) λόγω της μεγάλης μεταβολής της αγωγιμότητας λόγω της επικοινωνίας με τη θάλασσα και δ) λόγω του πολύ μικρού βάθους της λίμνης και της ισχυρής επίδρασης του πυθμένα στη στήλη νερού και της απουσίας θερμικής στρωμάτωσης:

- Βασική παράμετρος είναι ο βιοόγκος φυτοπλαγκτού διότι αντανakλά την πραγματική πρωτογενή παραγωγή (παραγωγή οργανικού υλικού στη στήλη του νερού) δηλαδή την πρώτη απόκριση του φυτοπλαγκτού στην πίεση των αίτιων του ευτροφισμού.

Η **μέση τιμή της θερμής περιόδου** εκτιμάται από δεδομένα της Ισμαρίδας (Αύγουστος – Νοέμβριος 2010). Μπορεί με βάση τα πρώτα αποτελέσματα της Ισμαρίδας να **αποτελεί έως και το 75% της μέγιστης τιμής βιοόγκου**.

Η τιμή του λόγου μέση ετήσια τιμή βιοόγκου : μέγιστη ετήσια τιμή βιοόγκου για τις Μεσογειακές λίμνες είναι (περίπου 42 %) γενικά μεγαλύτερη από την αντίστοιχη για τις λίμνες της εύκρατης ζώνης (31 %). **Σύμφωνα με τα μέχρι σήμερα δεδομένα της Ισμαρίδας, η μέση ετήσια τιμή βιοόγκου αποτελούσε περίπου το 57 % της μέγιστης τιμής βιοόγκου.**

Συμπερασματικά, το εύρος βιοόγκου θα καθορίζεται με βάση τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά του τύπου, τα δεδομένα από την Ισμαρίδα και άλλες Ελληνικές και Μεσογειακές λίμνες καθώς και με βάση την επικρατέστερη κατηγοριοποίηση των λιμνών ως προς την τροφική τους κατάσταση (Smith 2003: από Swedish EPA 2000). Σύμφωνα με τα παραπάνω για την υψηλή κατάσταση και τις **συνθήκες αναφοράς** προτείνονται τα ακόλουθα σε σχέση με το βιοόγκο:

Το ετήσιο εύρος μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 0,2 και 4,0 mm³ L⁻¹ και αντιστοιχεί στην υψηλή οικολογική κατάσταση. Η μέση ετήσια τιμή βιοόγκου εκτιμάται να είναι μικρότερη από 2,3 mm³ L⁻¹, τιμή που μπορεί να αποτελεί το μέγιστο για συνθήκες αναφοράς στον τύπο της Ισμαρίδας.

- Η παράμετρος χλωροφύλλη α αποτελεί, σύμφωνα με τα προαναφερθέντα, εκτιμήτρια παράμετρο του βιοόγκου φυτοπλαγκτού και οι τιμές θα καθορισθούν με βάση τα παραπάνω όρια για τον βιοόγκο σε συνδυασμό με τα δεδομένα της χωρικής μεθόδου χλωροφύλλης για την Λίμνη Ισμαρίδα. Τα αποτελέσματα της χωρικής μεθόδου για τη συγκέντρωση της φυτοπλαγκτικής χλωροφύλλης στο νερό δεν υποδηλώνουν συνθήκες αναφοράς καθώς δεν μετρήθηκαν πολύ υψηλές τιμές χλωροφύλλης κατά περιόδους (κυμάνθηκαν από 49,5 έως 199,9 μg L⁻¹). Η σχέση μεταξύ βιοόγκου φυτοπλαγκτού και χλωροφύλλης α δεν ήταν στατιστικώς σημαντική. Και αυτό οφειλόταν στη μεταβλητότητα της περιεχόμενης χλωροφύλλης ανά μονάδα βιοόγκου, περίπου τέσσερεις φορές, αν και κυμαινόταν στην ίδια τάξη μεγέθους. Ο λόγος **χλωροφύλλης : βιοόγκου** κυμάνθηκε μεταξύ 0,13 και 0,64 % με

μέση τιμή 0,27%. Η τιμή αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την μετατροπή των τιμών βιοόγκου σε χλωροφύλλη *a* και αντίστροφα.

Το ετήσιο εύρος μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ **0,8 και 24 $\mu\text{g L}^{-1}$** .

Η μέση ετήσια τιμή χλωροφύλλης εκτιμάται να είναι **μικρότερη από 14 $\mu\text{g L}^{-1}$** .

Η χλωροφύλλη μπορεί να χρησιμοποιηθεί ως παράμετρος διότι ήταν γνωστή η σύνθεση του φυτοπλαγκτού και των αιωρούμενων σωματιδίων στο νερό (μικροσκοπική ανάλυση).

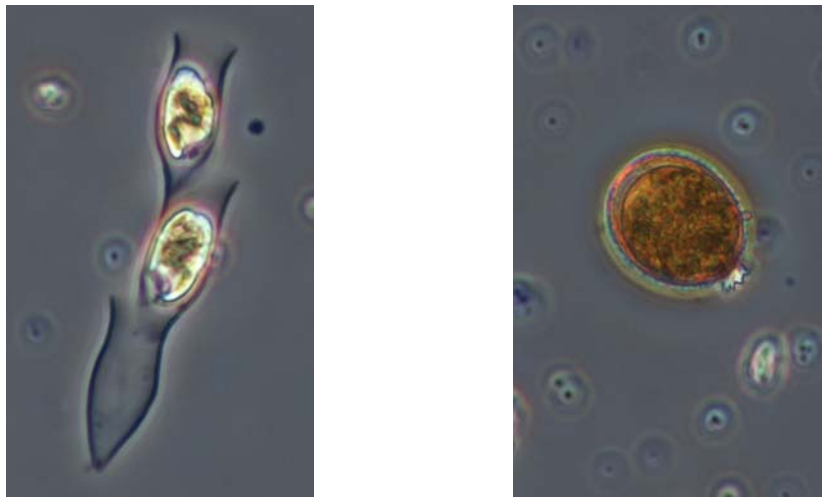
Ανθιση φυτοπλαγκτού ($1000 \text{ κύτταρα ml}^{-1}$) θα μπορούσε να παρατηρηθεί από **νανοπλαγκτικά είδη** όπως του γένους *Cyclotella* (από τη λειτουργική ομάδα A) από τα διάτομα και, *Dinobryon* από τα χρυσοφύκη. Ανθιση φυτοπλαγκτού ($>100 \text{ κύτταρα ml}^{-1}$) θα μπορούσε να παρατηρηθεί από **μικροπλαγκτικά είδη** όπως *Nitzschia closteroides* και *Urosolenia eriensis* (από τη λειτουργική ομάδα A) από τα διάτομα καθώς και *Trachelomonas* (λειτουργική ομάδα W2) από τα ευγληνοφύκη και τα αποικιακά volvocales (π.χ. γένος *Eudorina* της λειτουργικής ομάδας G). Η παράμετρος της άνθισης φυτοπλαγκτού δεν υποδηλώνει συνθήκες αναφοράς με βάση τα αποτελέσματα της χωρικής μεθόδου στη Λίμνη Ισμαρίδα. Αντίθετα, οι διαρκείς ανθίσεις φυτοπλαγκτού, διαδοχικά από διαφορετικούς οργανισμούς στη λίμνη κατά τη θερμή περίοδο υποδηλώνουν, σύμφωνα με την Οδηγία, οικολογική κατάσταση μέτρια ή κατώτερη της μετρίας.

- Η παράμετρος της ποσοστιαίας συμμετοχής των κυανοβακτηρίων προκύπτει με βάση τα χαρακτηριστικά του τύπου (ιδιαίτερα την τεράστια κάλυψη από μακροφυτική βλάστηση, το πολύ μικρό βάθος και το σχετικά χαμηλό βροχομετρικό ύψος και τις σχετικά υψηλές θερμοκρασίες κατά τη θερμή περίοδο Αυγούστου-Νοεμβρίου), τη συμμετοχή των κυανοβακτηρίων σε λίμνες της Ευρώπης, σε λίμνες των Μεσογειακών χωρών και ιδιαίτερα της Ελλάδας με βάση την τροφική τους κατάσταση αλλά και τις ιδιαίτερες κλιματικές και υδρομορφολογικές συνθήκες. Ακόμη θα ληφθούν υπόψη και οι κατευθυντήριες γραμμές του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας (Π.Ο.Υ.). Τέλος, η συμμετοχή των κυανοβακτηρίων θα υποστηριχθεί και από δεδομένα της γειτονικής Λίμνης Δοϊράνης σε παρόμοια χαμηλό υψόμετρο και με μικρό βάθος, δηλαδή στην ποιοτική σύνθεση των **δειγμάτων φυτοπλαγκτού της περιόδου 1891-1918 (Schröder 1921)**. Η εργασία αυτή είναι τεράστιας σημασίας διότι παρέχει ποιοτικά δεδομένα για το φυτοπλαγκτό πριν 120 χρόνια, δηλαδή για τις συνθήκες αναφοράς σε μια λίμνη με παρόμοια χαρακτηριστικά και σε παρόμοιες σχετικά κλιματικές συνθήκες. Σύμφωνα με τα στοιχεία της άσκησης διαβαθμονόμησης η τιμή αναφοράς για την ποσοστιαία συμμετοχή των κυανοβακτηρίων σε μεσογειακές φραγμαλίμνες είναι 0% στο συνολικό βιοόγκο φυτοπλαγκτού και προκύπτει ως μέση συμμετοχή της περιόδου Ιούνιος – Σεπτέμβριος για όλη την εύρωτη ζώνη. Για τον τύπο της αβαθούς, φυσικά εύτροφης, ολομικτικής Λίμνης Ισμαρίδας, σε υγρή μεσόθερμη περιοχή με

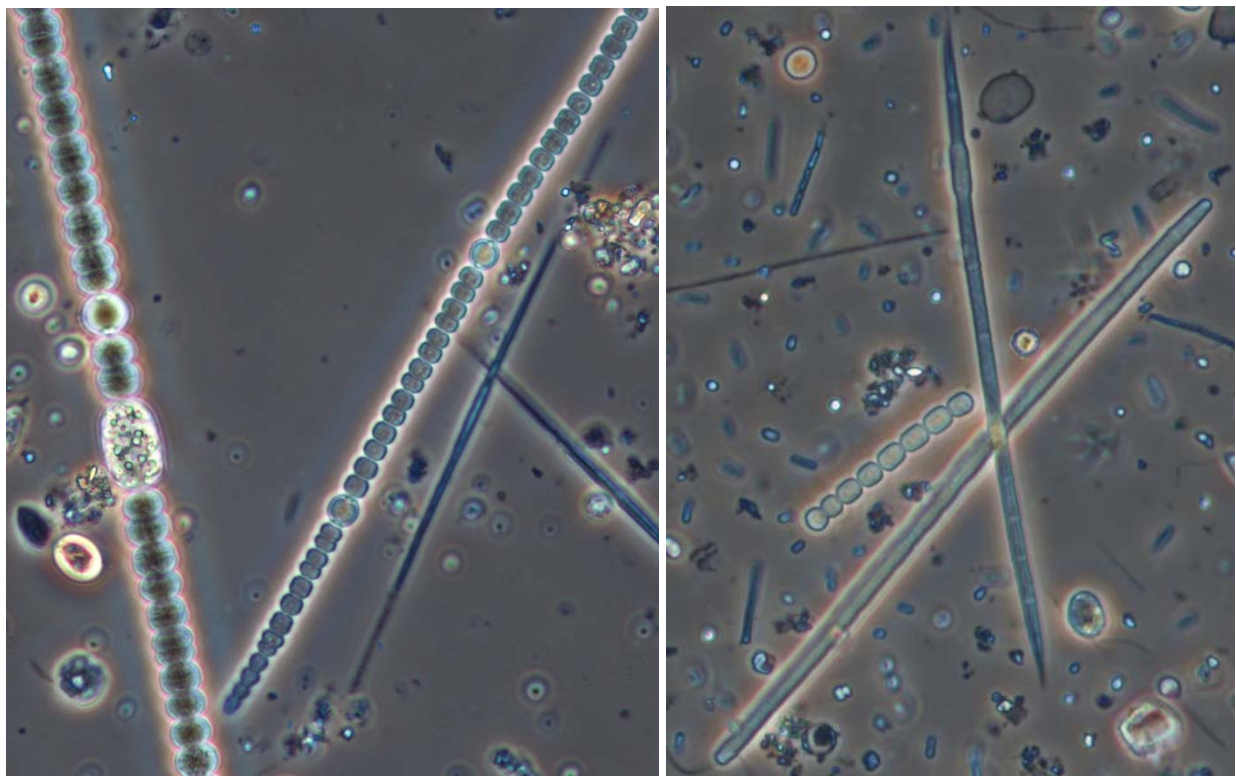
άνομβρο το καλοκαίρι και πιθανά μεγάλο αριθμό ειδών κυανοβακτηρίων (παίρνοντας υπόψη τα δεδομένα της Δοϊράνης για την περίοδο 1891-1918 όταν η ανθρωπογενής επίδραση ήταν ελάχιστη) προτείνονται τα ακόλουθα:

Η συμμετοχή των κυανοβακτηρίων στο συνολικό βιοόγκο φυτοπλαγκτού μπορεί να φθάνει το 10% της μέγιστης τιμής $4,0 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ (δηλαδή $0,4 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$) ($0,2 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$: Ουδός συναγερμού 1 Π.Ο.Υ) μόνο την χρονική στιγμή του μέγιστου στον ετήσιο κύκλο. Η συμμετοχή των κυανοβακτηρίων στο συνολικό βιοόγκο φυτοπλαγκτού μπορεί να φθάνει το 8% της μέσης τιμής της θερμής περιόδου $3,0 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$, δηλαδή $0,24 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$ ($0,2 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$: Ουδός συναγερμού 1 Π.Ο.Υ) κατά τη θερμή περίοδο.

- Ο δείκτης **Iga** = $[1+0.1\text{Cr}+\text{Cc}+2(\text{Dc}+\text{Chc})+3\text{Vc}+4\text{Cia}] / [1+2(\text{D}+\text{Cnc})+\text{Chnc}+\text{Dnc}]$ ή **Catalan** δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην Ισμαρίδα διότι στις ομάδες που στηρίζεται (κρυπτοφύκη, χλωροφύκη, χρυσοφύκη, διάτομα, κυανοβακτήρια και δινοφύκη) δεν συμπεριλαμβάνονται βασικές ομάδες του φυτοπλαγκτού που καταγράφηκαν με τη χωρική μέθοδο στην Ισμαρίδα όπως απτοφύκη, συζυγή φύκη και ιδιαίτερα τα ευγληνοφύκη που αποτελούν σημαντική ομάδα όχι μόνο με βάση τη σύνθεση αλλά και τη βιομάζα και την επικράτηση του φυτοπλαγκτού.
- Επιπλέον, δείκτη ταξινομικής σύνθεσης του φυτοπλαγκτού για τον καθορισμό συνθηκών αναφοράς, εφόσον παρατηρηθούν, θα αποτελούν ως κυρίαρχες ομάδες φυτοπλαγκτού ως προς τον βιοόγκο τα διάτομα (έως και >50% ετησίως) και χρυσοφύκη (έως και >10% ετησίως). Τα αποτελέσματα της έρευνάς μας δείχνουν ότι η συμμετοχή των διατόμων στο συνολικό βιοόγκο είναι σημαντική αλλά των χρυσοφυκών ασήμαντη. Ως εκ τούτου η παράμετρος αυτή δεν υποδηλώνει συνθήκες αναφοράς για τη λίμνη.
- Ευαίσθητα είδη και ομάδες φυτοπλαγκτού στον ευτροφισμό προτείνονται είδη των γενών *Cyclotella*, το είδος *Urosolenia eriensis* (από τη λειτουργική ομάδα A), είδη του γένους *Dinobryon* (Εικ. 9) καθώς και του χρυσοφύκους *Mallomonas*, του ευγληνοφύκους *Trachelomonas* (Εικ. 9) (λειτουργική ομάδα W2) και είδη από τα χλωροφύκη volvocales που σχηματίζουν αποικίες (π.χ. του γένους *Eudorina* της λειτουργικής ομάδας G) καθώς και είδη των συζυγών φυκών των γενών *Cosmarium* και *Staurastrum*. Ανεπιθύμητα είδη που δεν μπορούν να έχουν παρά μόνο σποραδική, τυχαία εμφάνιση ανήκουν στα γένη κυανοβακτηρίων: *Limnothrix* και *Planktothrix* (Εικ. 10) (λειτουργική ομάδα S1), *Cylindrospermopsis* / *Raphidiopsis* (Εικ. 10) (λειτουργική ομάδα S_N), *Anabaena* (Εικ. 10), *Aphanizomenon* (λειτουργική ομάδα H) και *Microcystis* (λειτουργική ομάδα M). Ακόμη είδη που δεν είναι κοινά σε συνθήκες αναφοράς ανήκουν και στα διάτομα, όπως είδη των γενών *Stephanodiscus* και *Synedra* και στα χλωροφύκη *Pediastrum*, *Scenedesmus* (Εικ. 11) και στο ευγληνοφύκος *Euglena* (Εικ. 11).



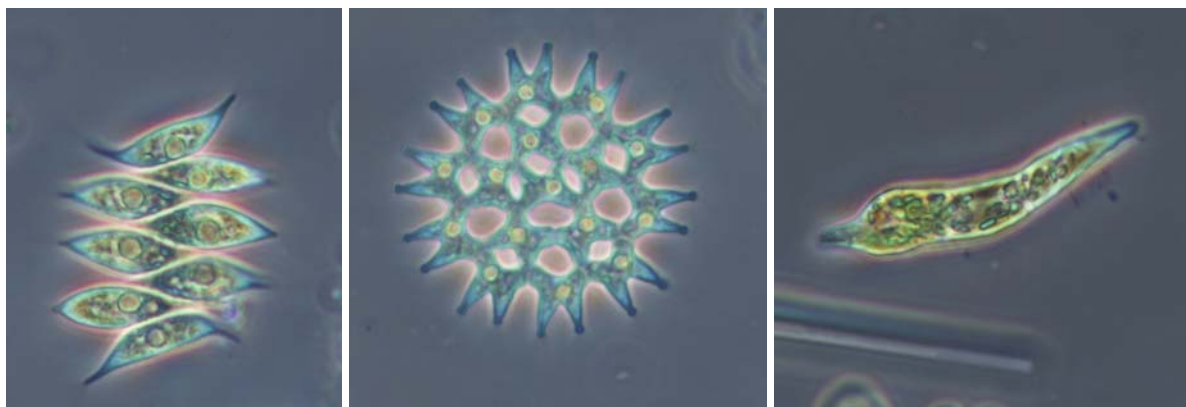
Εικόνα 9: Μικροφωτογραφία του χρυσοφύκου *Dinobryon sertularia* (αριστερά) και του ευγληνοφύκου *Trachelomonas* sp. (δεξιά) στη Λίμνη Ισμαρίδα



Εικόνα 10: Μικροφωτογραφία των κυανοβακτηρίων *Anabaena viguieri* και *A. aphanizomenoides* (αριστερά) και *Planktothrix* cf. *agardhii*, *Raphidiopsis mediterranea*, *A. aphanizomenoides* (δεξιά) στη Λίμνη Ισμαρίδα

Από τα αποτελέσματα της γειτονικής Λίμνης Δοϊράνης προκύπτει ότι είδη των γενών *Cyclotella*, το είδος *Urosolenia eriensis* και είδη *Dinobryon* και *Mallomonas* ανιχνεύτηκαν στο φυτοπλαγκτό την περίοδο 1891-1918. Αξίζει να τονιστεί ότι πολλά από τα ανεπιθύμητα κυανοβακτήρια, γνωστά για την παραγωγή τοξινών, όπως *Anabaena flos-aquae*, *Aphanizomenon flos-aquae*, *Microcystis aeruginosa* ήταν παρόντα στο φυτοπλαγκτό της Δοϊράνης εδώ και τουλάχιστον 120 έτη. Όμως, αυτό που δεν γνωρίζουμε είναι η πληθυσμιακή

πυκνότητα των ειδών την περίοδο εκείνη για να έχουμε δυνατότητα ποσοτικής εκτίμησης της συμμετοχής των κυανοβακτηρίων αυτών στο βιοόγκο του φυτοπλαγκτού.



Εικόνα 11: Μικροφωτογραφία των γενών των χλωροφυκών *Scenedesmus* και *Pediatrum* (από αριστερά) και του ευγληνοφύκου *Euglena* (δεξιά) στη Λίμνη Ισμαρίδα

Από τα αποτελέσματα της έρευνάς μας στην Ισμαρίδα, αναγνωρίστηκαν στο φυτοπλαγκτό τόσο είδη ευαίσθητα στον ευτροφισμό, όπως είδη των συζυγών φυκών των γενών *Cosmarium* και *Staurostrum* όσο και ανεπιθύμητα είδη που ήταν όμως κυρίαρχα στη λίμνη, όπως είδη των κυανοβακτηρίων *Planktothrix* και *Anabaena*. Ακόμη, ήταν κυρίαρχα, είδη που δεν είναι κοινά σε συνθήκες αναφοράς, όπως από τα διάτομα είδη του γένους *Stephanodiscus* και από τα χλωροφύκη είδη των chlorococcales καθώς και είδη του ευγληνοφύκου *Euglena*.

- Ο συνολικός αριθμός ειδών φυτοπλαγκτού για συνθήκες αναφοράς μπορεί να είναι σχετικά υψηλός (να κυμαίνεται μεταξύ 100 και 150) για μια πολύ ρηχή. Ο αριθμός των κυανοβακτηρίων και των χλωροφυκών μπορεί να αποτελεί περίπου το 50% του συνολικού αριθμού ειδών. Ο αριθμός χρυσοφυκών, συζυγών χλωροφυκών, διατόμων και ευγληνοφυκών και άλλων μαστιγωτών μπορεί να αποτελεί το υπόλοιπο 50% του συνόλου. Από τα αποτελέσματα της χωρικής μεθόδου της παρούσας έρευνας στην Ισμαρίδα προκύπτει ότι τα χαρακτηριστικά συνθηκών αναφοράς δεν παρατηρήθηκαν στη λίμνη. Ο αριθμός ειδών 167 ήταν > 150 είδη που δείχνει τον εύτροφο χαρακτήρα μεσογειακής λίμνης. Η μεγάλη συμμετοχή των χλωροφυκών και κυανοβακτηρίων (60 %), με τεράστια συμμετοχή ευγληνοφυκών (42 από τα 167 είδη) αλλά και η πολύ χαμηλή συμμετοχή χρυσοφυκών (3 είδη) και συζυγών χλωροφυκών (12 είδη) δεν υποδηλώνουν συνθήκες αναφοράς. Όμως, τα δεδομένα της σύνθεσης του φυτοπλαγκτού της Δοϊράνης της περιόδου 1891-1918, ακόμη και μόνο του φυτοπλαγκτού που συλλέχθηκε με δίχτυ (μικροφυτοπλαγκτό) δείχνουν ότι οι συνθήκες αναφοράς στον πλησιέστερο τύπο λίμνης που γνωρίζουμε μπορούν να χαρακτηρίζονται από σχετικά μεγάλο αριθμό ειδών (41 είδη μικρο-φυτοπλαγκτού σε ένα δείγμα διχτυού τη θερμή περίοδο) με μεγάλη συμμετοχή αριθμού ειδών χλωροφυκών και κυανοβακτηρίων (23 από τα 41 είδη, 8 κυανοβακτήρια και 15 χλωροφύκη) αλλά και σημαντική παρουσία χρυσοφυκών, δινομαστιγωτών και γενικότερα μαστιγωτών.

5.5 Καθορισμός ορίων κλάσεων ταξινόμησης της οικολογικής κατάστασης της λίμνης

Σύμφωνα με τη συνολική προσέγγιση στην ταξινόμηση της οικολογικής κατάστασης ή του οικολογικού δυναμικού λιμνών και φραγμαλισμικών, αντίστοιχα της Ευρώπης (Guidance document n. 13, Working group 2A): α) οι τιμές των υδρομορφολογικών στοιχείων υπαγορεύουν την υψηλή οικολογική κατάσταση ή μέγιστο οικολογικό δυναμικό, και β) οι τιμές των φυσικών – χημικών στοιχείων υπαγορεύουν την υψηλή και καλή οικολογική κατάσταση ή μέγιστο και καλό οικολογικό δυναμικό. Ως εκ τούτου η ένταξη των υδάτινων σωμάτων σε μέτρια, ελλιπή και κακή κατάσταση ή οικολογικό δυναμικό γίνεται με βάση τα αποτελέσματα παρακολούθησης των βιολογικών στοιχείων.

Με βάση τα παραπάνω αναφερθέντα για τις συνθήκες αναφοράς, την ερμηνεία του παραρτήματος V της Οδηγίας και τα αποτελέσματα της ομάδας εργασίας για τη διαβαθμονόμηση καθώς και τις τιμές παραμέτρων φυτοπλαγκτού για την τροφική κατάταξη των λιμνών προτείνονται οι κανόνες για τον καθορισμό των τιμών-ορίων κλάσεων για την ταξινόμηση της οικολογικής κατάστασης της Λίμνης Ισμαρίδας. Οι κανόνες που ακολουθούνται αναφέρονται παρακάτω:

- Οι τιμές βιοόγκου από τις συνθήκες αναφοράς στο όριο υψηλής - καλής κατάστασης θα μεταβάλλονται ελαφρώς (όπως και η Οδηγία ορίζει για τις μεταβολές του φυτοπλαγκτού) και αυτό θα υπολογίζεται με κατά 75 % αύξηση των τιμών βιοόγκου σε συνθήκες αναφοράς. Η αριθμητική αυτή αύξηση αν και δεν φαίνεται μικρή ως τιμή, εντούτοις, για τη δυναμική του φυτοπλαγκτού σε μια τόσο αβαθή λίμνη εκφράζει ελαφρά μεταβολή του βιοόγκου.
- Οι τιμές βιοόγκου από την καλή (όριο υψηλής – καλής) στη μέτρια (όριο καλής – μέτριας) κατάσταση θα μεταβάλλονται μετρίως μπορεί όμως να δείχνουν ισχυρή διαταραχή από τις συνθήκες αναφοράς (όπως και η Οδηγία ορίζει για τις μεταβολές του φυτοπλαγκτού) και αυτό θα υπολογίζεται με αύξηση των τιμών από την καλή οικολογική κατάσταση (όριο υψηλής - καλής) κατά 200% (τριπλασιασμό τιμών). Κρίνεται καταλληλότερο να χρησιμοποιηθεί η βαθμιαία αριθμητική μεταβολή από κλάση σε κλάση διότι αντανακλά περισσότερο οικολογικές διεργασίες και την πορεία ευτροφισμού.
- Οι τιμές βιοόγκου από τη μέτρια στην ελλιπή κατάσταση θα μεταβάλλονται σημαντικά από τις συνθήκες αναφοράς και αυτό θα υπολογίζεται με τριπλασιασμό των τιμών της μέτριας κατάστασης (όριο καλής - μέτριας) (αύξηση 200%).
- Η κατώτερη τιμή βιοόγκου για την ελλιπή κατάσταση θα αποτελεί και το ανώτερο όριο για την κακή κατάσταση. Οι τιμές βιοόγκου από την ελλιπή στην κακή κατάσταση θα μεταβάλλονται σημαντικά από τις συνθήκες αναφοράς και αυτό θα υπολογίζεται με αύξηση των τιμών της ελλιπούς κατάστασης (όριο μέτριας – ελλιπούς) κατά 200%.
- Οι τιμές χλωροφύλλης καθορίζονται με βάση τα αποτελέσματα της διαβαθμονόμησης, τα παραπάνω όρια κλάσεων με βάση το βιοόγκο και την επικρατέστερη κατηγοριοποίηση των

λιμνών ως προς την τροφική τους κατάσταση. Όλα αυτά σε συνδυασμό με τα δεδομένα χλωροφύλλης (ψ) από την παρακολούθηση της λίμνης Ισμαρίδας και τη σχέση που προκύπτει με τον βιοόγκο (χ). Η σχέση είναι: $\psi = 1,52 \chi + 35,8$ ($r^2 = 0.27$). Οι συνθήκες αναφοράς και οι μεταβολές από υψηλή σε καλή κατάσταση θα ακολουθούν αναλογικά τα προτεινόμενα παραπάνω για το βιοόγκο φυτοπλαγκτού, ενώ για τα επόμενα όρια κλάσεων οι μεταβολές θα υπολογίζονται με διπλασιασμό των τιμών από τη μία κλάση στην επόμενη.

- Οι τιμές ποσοστιαίας συμμετοχής των κυανοβακτηρίων στο συνολικό βιοόγκο φυτοπλαγκτού καθορίζονται με βάση τα αποτελέσματα της διαβαθμονόμησης και την επικρατέστερη σχέση συμμετοχής κυανοβακτηρίων στο φυτοπλαγκτό ως προς την τροφική κατάσταση των λιμνών καθώς και το ρόλο τους στις διαταραχές του τροφικού πλέγματος σε συνδυασμό με τα δεδομένα μας για Ελληνικές λίμνες. Ακόμη, η συμμετοχή των κυανοβακτηρίων θα συνδέεται και με τις κατευθυντήριες γραμμές του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας για ασφαλή χρήση νερού. Η συμμετοχή των κυανοβακτηρίων στο συνολικό βιοόγκο φυτοπλαγκτού μπορεί να φθάνει το 8% στις συνθήκες αναφοράς και το 10% για το όριο υψηλής – καλής κατάστασης, 20% για το όριο καλής – μέτριας κατάστασης, 40% για το όριο μέτριας – ελλιπούς και 70% για το όριο ελλιπούς – κακής κατάστασης.
- Ο δείκτης Catalan είναι ακατάλληλος να χρησιμοποιηθεί και ως εκ τούτου δεν ορίζονται όρια.

5.6 Όρια οικολογικής κατάστασης της λίμνης

Σύμφωνα με τα παραπάνω για τις συνθήκες αναφοράς σε σχέση με τις παραμέτρους του φυτοπλαγκτού που έχουν καθορισθεί από την ομάδα διαβαθμονόμησης για τις φραγμαλίμνες προτείνονται τα ακόλουθα όρια. Τα όρια αυτά ισχύουν για έτη με υψηλό, κανονικό και χαμηλό ετήσιο βροχομετρικό ύψος και για έτη με παρατεταμένη ανομβρία τη θερμή περίοδο καθόσον ο τύπος της λίμνης συμπεριλαμβάνει κλιματικά στοιχεία, όπως ανομβρία το καλοκαίρι αν και υγρού, μεσόθερμου κλίματος.

Συνθήκες αναφοράς:

Οι τιμές βιοόγκου φυτοπλαγκτού ($\text{mm}^3 \text{ L}^{-1}$):	2.3
Οι τιμές χλωροφύλλης α (mg m^{-3}):	14
Η ποσοστιαία συμμετοχή των κυανοβακτηρίων στο βιοόγκο (%):	8

Όριο υψηλής - καλής οικολογική κατάσταση:

Οι τιμές βιοόγκου φυτοπλαγκτού ($\text{mm}^3 \text{ L}^{-1}$):	4.0
Οι τιμές χλωροφύλλης α (mg m^{-3}):	24
Η ποσοστιαία συμμετοχή των κυανοβακτηρίων στο βιοόγκο (%):	10

Όριο καλής – μέτριας οικολογικής κατάστασης:

Οι τιμές βιοόγκου φυτοπλαγκτού ($\text{mm}^3 \text{ L}^{-1}$):	12
Οι τιμές χλωροφύλλης α (mg m^{-3}):	48
Η ποσοστιαία συμμετοχή των κυανοβακτηρίων στο βιοόγκο (%):	20

Όριο μέτριας - ελλιπούς οικολογικής κατάστασης:

Οι τιμές βιοόγκου φυτοπλαγκτού ($\text{mm}^3 \text{ L}^{-1}$):	36
Οι τιμές χλωροφύλλης α (mg m^{-3}):	96
Η ποσοστιαία συμμετοχή των κυανοβακτηρίων στο βιοόγκο (%):	40

Όριο ελλιπούς - κακής οικολογικής κατάστασης:

Οι τιμές βιοόγκου φυτοπλαγκτού ($\text{mm}^3 \text{ L}^{-1}$):	108
Οι τιμές χλωροφύλλης α (mg m^{-3}):	192
Η ποσοστιαία συμμετοχή των κυανοβακτηρίων στο βιοόγκο (%):	70

5.7 Ταξινόμηση της οικολογικής κατάστασης της λίμνης - Γενικά

Σύμφωνα με την οικολογία των εύκρατων αβαθών λιμνών (Scheffer 1998) ισχύει η υπόθεση ότι οι εύτροφες λίμνες μπορεί να βρίσκονται σε δύο εναλλακτικές καταστάσεις, αυτή της χαμηλής διαφάνειας του νερού και επικράτησης του φυτοπλαγκτού και την άλλη της υψηλής διαφάνειας νερού και άφθονων βυθισμένων μακρόφυτων. Όμως, η υπόθεση αυτή διαφοροποιείται στις Μεσογειακές λίμνες και τα πρότυπα εποχικότητας πλαγκτού αποκλίνουν από αυτά των βόρειων εύκρατων λιμνών. Οι Μεσογειακές αβαθείς λίμνες είναι πιο «ευάλωτες» στις κλιματικές μεταβολές (ξηρασία, πλημμύρες) και στις ανθρωπογενείς επιδράσεις (υπεράντληση νερού, φορτία θρεπτικών). Ταυτόχρονα, αποτελούν πιο ώριμα συστήματα από τα αντίστοιχα μεγαλύτερου γεωγραφικού πλάτους καθόσον δεν παρατηρείται περιορισμός αύξησης φυτοπλαγκτού και μακροφύτων το χειμώνα λόγω φωτός όπως ισχύει σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη διότι η προσπίπτουσα στην επιφάνεια του νερού ακτινοβολία το χειμώνα στην Ισμαρίδα είναι παρόμοια με αυτή που δέχεται μία λίμνη της Γερμανίας την άνοιξη. Ως εκ τούτου δεν παρατηρείται στις Ελληνικές λίμνες το “starting point” της αύξησης την άνοιξη με αποτέλεσμα να παρατηρούνται στον ετήσιο κύκλο πιο πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις εντός και μεταξύ των βιοκοινοτήτων και εναλλαγή στις καταστάσεις επικράτησης φυτοπλαγκτού – μακροφύτων μέσα στο ίδιο έτος. Πολλοί μηχανισμοί λειτουργούν ταυτόχρονα και αλληλεπιδρούν για τη μία ή την άλλη κατάσταση ή και την αλληλοεπικάλυψη τους.

Η μεταβολή της στάθμης νερού είτε με την αυξημένη είσοδο γλυκού νερού το χειμώνα και άνοιξη ακόμη και με πλημμυρικά φαινόμενα είτε με την πτώση της λόγω εξάτμισης τη θερμή περίοδο και της ελεγχόμενης απορροής προς τη θάλασσα αλλά και η είσοδος αλμυρού νερού δημιουργούν ένα ιδιαίτερα μεταβαλλόμενο σύστημα στο χρόνο και στο χώρο στην Ισμαρίδα. Η μεταβολή της στάθμης την περίοδο της έρευνας από 1,30 m το Νοέμβριο του 2010 σε 0,80 m το Μάρτιο του 2011 και μέσα σ’ ένα μήνα (Απρίλιος) άνοδος της στάθμης κατά 0,3 m (βάθος λίμνης 1,10 m) αποτελεί τεράστια οικολογική μεταβολή γι αυτόν τον τύπο λίμνης. Η τεράστια ανάπτυξη υδρόβιων μακρόφυτων με την πτώση της στάθμης σ’ όλη την έκταση της λίμνης (Εικ. 12) αλλά και η διαδοχή διαφόρων ομάδων μακρόφυτων (Εικ. 7, 8) ανάλογα με τη στάθμη οδηγεί σε διαφορετικές καταστάσεις και για τους ανταγωνιστές τους το φυτοπλαγκτό, όπως φάνηκε στη διαφορετική επικράτηση του φυτοπλαγκτού σε διαφορετικές θέσεις στη λίμνη. Επειδή οι μεταβολές της στάθμης νερού στην Ισμαρίδα αλλάζουν ραγδαία μες το χρόνο τις βιοκοινότητες φυτοπλαγκτού και μακροφύτων είναι απαραίτητο να διερευνηθούν σε λεπτομέρεια αυτές οι βιοκοινότητες και οι μεταβολές τους για να μπορεί η μεταβολή της στάθμης νερού να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για τη διαχείριση και αποκατάσταση της λίμνης. Οι τεράστιες αυτές οικολογικές μεταβολές σε σύντομο χρόνο συνδέονται άμεσα και με την οικολογική κατάσταση της λίμνης και οδηγούν σε αβεβαιότητα ταξινόμησής της με βάση μόνο

το βιολογικό στοιχείο φυτοπλαγκτό αν και θεωρείται το πιο αξιόπιστο ιδιαίτερος όταν εκφράζεται με παραμέτρους όπως βιοόγκος και ταξινομική σύνθεση σε επίπεδο είδους.



Εικόνα 12: Πτώση στάθμης της Λίμνης Ισμαρίδας όπως «αποτυπώνεται» στους καλαμώνες (η πτώση διακρίνεται από το διαφορετικό χρώμα των καλαμώνων στο τμήμα τους κοντά στην επιφάνεια του νερού)

Οι μεταβολές της στάθμης νερού στην αβαθή αυτή λίμνη μπορεί να επηρεάζει και τη διαφάνεια του νερού μέσω της επαναιώρησης του ιζήματος. Με την πτώση της στάθμης το Φεβρουάριο παρατηρήθηκε και σημαντική μείωση της διαφάνειας του νερού με υψηλές τιμές χλωροφύλλης. Όμως και η αύξηση της στάθμης νερού το Νοέμβριο συνοδεύτηκε με μείωση της διαφάνειας σε συνδυασμό με υψηλές τιμές βιομάζας φυτοπλαγκτού. Η επίδραση της μεταβολής της στάθμης νερού και της σύνδεσης της λίμνης με τη θάλασσα στην τροφική και οικολογική κατάσταση της λίμνης δεν μπορεί με τα μέχρι σήμερα δεδομένα να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο πρόβλεψης. Είναι απαραίτητο να εξεταστούν οι μηχανισμοί που οδηγούν στις μεταβολές στις βιοκοινότητες της λίμνης για τουλάχιστον μια τριετία. Ακόμη, επειδή για την ταξινόμηση της οικολογικής κατάστασης με διαφορετικά βιολογικά στοιχεία της Οδηγίας, π.χ. φυτοπλαγκτό και μακρόφυτα, εφαρμόζεται ο κανόνας, ένα έξω - όλα έξω, απαιτείται να γίνει ταυτόχρονη εξέταση μακρόφυτων και φυτοπλαγκτού και η εκτίμηση να γίνει με βάση το συνδυασμό και όχι τον αποκλεισμό των βιολογικών στοιχείων. Επιπλέον, πρέπει να δίνεται μεγαλύτερη βαρύτητα στις πιο αξιόπιστες παραμέτρους, όπως έγινε στην έρευνα αυτή για το φυτοπλαγκτό.

5.8 Ταξινόμηση της οικολογικής κατάστασης της λίμνης – Δεδομένα & Μεθοδολογία

Τα δεδομένα ταξινόμησης προέρχονται από το πρόγραμμα παρακολούθησης της λίμνης Ισμαρίδας που περιγράφονται στην τεχνική αυτή έκθεση. Η μεθοδολογία που χρησιμοποιήθηκε για τις παραμέτρους βιομάζας φυτοπλαγκτού (**βιοόγκος και χλωροφύλλη α**) είναι η ίδια με αυτήν που προτείνεται στην Οδηγία και περιγράφεται παραπάνω αναλυτικά. Όσον αφορά στην εκτίμηση της **συμμετοχής των κυανοβακτηρίων** αυτή προκύπτει με βάση τη μεθοδολογία υπολογισμού του βιοόγκου που έχει περιγραφεί στην τεχνική έκθεση. Ιδιαίτερα σημαντικό είναι να αναφερθεί ότι η περίοδος Αύγουστος – Νοέμβριος 2010 και Ιούνιος – Σεπτέμβριος 2011 αποτέλεσαν το κατάλληλο «παράθυρο» χρόνου για την εκτίμηση της οικολογικής κατάστασης. Και αυτό διότι οι περίοδοι αυτή αντιστοιχούν στα τελευταία στάδια διαδοχής του φυτοπλαγκτού που η κοινωνία είναι πιο πολύπλοκη και η εξέτασή της μας παρέχει τις περισσότερες πληροφορίες για τη λειτουργία της λίμνης, όπως αναλυτικά περιγράφεται στην επόμενη παράγραφο. Ταυτόχρονα, η περίοδος αυτή είναι συμβατή με αυτή που χρησιμοποιήθηκε στη διαβαθμονόμηση των μεσογειακών φραγμαλιμνών (Ιούνιος – Σεπτέμβριος). Ακόμη, με τα δεδομένα δύο ετών της θερμής περιόδου (2010 & 2011) είναι δυνατή η σύγκριση μεταξύ δύο ετών και η ταξινόμηση μπορεί βελτιστοποιηθεί.

Σε πολλές λίμνες η εποχιακή περιοδικότητα του φυτοπλαγκτού παρουσιάζει χαρακτηριστικές φάσεις μέσα σε ένα χρόνο όπως: α) η ψυχρή περίοδος, β) η ανοιξιάτικη περίοδος των διατόμων και η φάση διαύγειας και γ) η φάση του τελευταίου σταδίου ή τελευταίων σταδίων διαδοχής το καλοκαίρι και το φθινόπωρο.

α) Στη λίμνη Ισμαρίδα, όπως και σε άλλες Ελληνικές λίμνες, η ψυχρή περίοδος συνήθως διαρκεί αρκετούς μήνες (Νοέμβριος – Μάρτιος, σε ορισμένα έτη δεν συμπεριλαμβάνεται ο Νοέμβριος) και χαρακτηρίζεται από την επικράτηση διατόμων ή μαστιγωτών της ίδιας οικολογικής ομάδας. Μάλιστα, η ποικιλότητα των ειδών είναι η χαμηλότερη (τη ψυχρή περίοδο σε ένα λίτρο νερού στην Ισμαρίδα παρατηρήθηκαν λιγότερα από 40 είδη ενώ τη θερμή περίοδο 110 είδη φυτοπλαγκτού).

β) Στις περισσότερες λίμνες η περίοδος της άνοιξης έχει συνήθως σύντομη διάρκεια (Απρίλιο - Μάιο), εξαρτάται από τη διάρκεια του χειμώνα και στο φυτοπλαγκτό επικρατούν συνήθως διάτομα, μαστιγωτά και χλωροφύκη που συνήθως βρίσκονται σε χαμηλές τιμές βιομάζας, ενώ στις ξηρές περιόδους αναπτύσσονται και τα κυανοβακτήρια. Την ίδια περίοδο μπορεί να παρατηρηθεί η φάση διαύγειας, αν και είναι πολύ δύσκολο να εκτιμηθεί σε πολυμεικτικού τύπου λίμνες όπως η Ισμαρίδα. Το στάδιο διαδοχής του φυτοπλαγκτού στην Ισμαρίδα που παρατηρήθηκε τον Απρίλιο δεν είναι κατάλληλο για την εκτίμηση της οικολογικής κατάστασης (από μόνο του) λόγω των χαρακτηριστικών του, της μικρής διάρκειας και μη προβλέψιμης αλλαγής.

γ) Η φάση των τελευταίων σταδίων διαδοχής το καλοκαίρι – φθινόπωρο έχει ικανή διάρκεια για την παρακολούθηση του φυτοπλαγκτού, παρουσιάζει την πολυπλοκότητα της κοινωνίας με την ωρίμανση της στη διάρκεια του έτους. Είναι η φάση που προκύπτει από την αυτογενή ακολουθία αλλαγής στην επικράτηση του φυτοπλαγκτού στα προηγούμενα στάδια διαδοχής και εμπεριέχει τη μεγαλύτερη και πληρέστερη πληροφορία. Ως εκ τούτου, είναι πιθανόν και μία - δύο δειγματοληψίες μέσα στη θερμή περίοδο να μας δώσουν την καλύτερη δυνατή εκτίμηση της οικολογικής κατάστασης της λίμνης. Τα τελευταία στάδια διαδοχής μπορούν να αντανakλούν την χειρότερη δυνατή οικολογική κατάσταση της λίμνης Ισμαρίδας.

5.9 Ταξινόμηση της οικολογικής κατάστασης της λίμνης

Σύμφωνα με την προσέγγιση στην ταξινόμηση της οικολογικής κατάστασης λιμνών της Ευρώπης (Guidance document n. 13, Working group) η ένταξη των υδάτινων σωμάτων σε μέτρια, ελλιπή και κακή κατάσταση ή οικολογικό δυναμικό γίνεται με βάση τα αποτελέσματα παρακολούθησης των βιολογικών στοιχείων. Ακολουθώντας τα παραπάνω και το διάγραμμα ροής - διαδρομής αποφάσεων όπως στο Guidance document n. 13 για την παρουσίαση των σχετικών ρόλων των βιολογικών, υδρομορφολογικών και φυσικο-χημικών στοιχείων στην ταξινόμηση της οικολογικής κατάστασης σύμφωνα με τους ορισμούς της Οδηγίας για τη λίμνη Ισμαρίδα **προκύπτει ότι:**

Από τα αποτελέσματα παρακολούθησης στην Ισμαρίδα ι) για την περίοδο **Αύγουστος 2010 – Απρίλιος 2011**, οι μέσες τιμές θερμής περιόδου για όλες τις θέσεις δειγματοληψίας του υδάτινου σώματος για τις **παραμέτρους βιοόγκο $51,2 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$, χλωροφύλλη $75,5 \text{ mg m}^{-3}$ και συμμετοχή των κυανοβακτηρίων στο βιοόγκο 37%** **ταξινομούν την οικολογική κατάσταση της Ισμαρίδας ως ελλιπή** και ιι) για την περίοδο **Ιούνιος-Σεπτέμβριος 2011**, οι μέσες τιμές θερμής περιόδου για όλες τις θέσεις δειγματοληψίας του υδάτινου σώματος για τις **παραμέτρους βιοόγκο $63 \text{ mm}^3 \text{ L}^{-1}$, χλωροφύλλη 135 mg m^{-3} και συμμετοχή των κυανοβακτηρίων στο βιοόγκο 69%** **ταξινομούν την οικολογική κατάσταση της Ισμαρίδας ως ελλιπή**. Αυτή η ταξινόμηση προκύπτει με βάση τα αποτελέσματα ταξινόμησης από τις επί μέρους παραμέτρους του φυτοπλαγκτού σε συνδυασμό καθόσον αποκρίνονται στην ίδια πίεση, τον ευτροφισμό. Με τον κανόνα «ένα έξω, όλα έξω» η ταξινόμηση με το φυτοπλαγκτό θα οδηγήσει στην ταξινόμηση του υδάτινου σώματος τουλάχιστον με τον χαρακτηρισμό της ελλιπούς οικολογικής κατάστασης. Βέβαια, οι τιμές των παραμέτρων εκτός της κρίσιμης θερμής περιόδου και συγκεκριμένα την περίοδο Φεβρουάριος – Απρίλιος 2011, σύμφωνα με τα αποτελέσματα της παρακολούθησης δείχνουν την ικανότητα του συστήματος για βελτίωση της ποιότητας του νερού. Αυτό ενισχύεται και από την υψηλή βιοποικιλότητα φυτοπλαγκτού της λίμνης που μπορεί να υποστηρίξει βελτίωση της οικολογικής κατάστασης με αυτοοργάνωση του συστήματος ως στρατηγική αποκατάστασης. Ακόμη,

διαφορετική εκτίμηση για τη συμμετοχή των κυανοβακτηρίων προκύπτει αν συμπεριληφθούν ή αν δεν συμπεριληφθούν τα δεδομένα του Νοεμβρίου σε αυτά της θερμής περιόδου. Από άποψη θερμοκρασίας το 2010 ο Νοέμβριος ήταν ιδιαίτερα θερμός μήνας με τιμές θερμοκρασίες $>20^{\circ}\text{C}$ άρα θεωρητικά μπορεί να συμπεριληφθεί στη θερμή περίοδο. Από άποψη διαδοχής φυτοπλαγκτού ο μήνας αυτός αποτελεί μεταβατική περίοδο από το τελευταίο στάδιο διαδοχής με κυριαρχία κυανοβακτηρίων στο πρώτο στάδιο διαδοχής με κυριαρχία διατόμων.

6. ΔΙΕΡΕΥΝΗΣΗ ΣΤΟΙΧΕΙΩΝ ΤΡΟΦΙΚΟΥ ΠΛΕΓΜΑΤΟΣ

Η λειτουργία του τροφικού πλέγματος στις λίμνες είναι γνωστή, γνώση που προέρχεται κυρίως από δεδομένα λιμνών της βόρειας και κεντρικής Ευρώπης. Ωστόσο είναι πλέον αποδεκτό ότι τα πρότυπα αυτά δεν ανταποκρίνονται ούτε εφαρμόζονται στις μεσογειακές λίμνες.

Στις αβαθείς μεσογειακές λίμνες το ζωοπλαγκτό (τροχόζωα, κλαδοκερωτά και κωπήποδα - < 200 μm σε μέγεθος) φαίνεται να βρίσκεται κάτω από έντονη αλλά και συνεχόμενη πίεση τόσο από την βάση (bottom up control) (μεγάλη συγκέντρωση φυτοπλαγκτού, κυριαρχία κυανοβακτηρίων) όσο και από την κορυφή (top down control) (θήρευση από τα ψάρια). Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να απουσιάζουν τα μεγαλόσωμα κλαδοκερωτά κυρίως του γένους *Daphnia*, οργανισμός ‘κλειδί’ για την αποκατάσταση των λιμνών. Ακόμα και σχετικά μέτριες συγκεντρώσεις (μερικές δεκάδες ανά λίτρο) ατόμων μεγαλόσωμων *Daphnia* μπορούν να διηθήσουν μεγάλο όγκο νερού και να μειώσουν αποτελεσματικά τη φυτοπλαγκτική βιομάζα. Έχει βρεθεί ακόμα ότι μπορούν να καταναλώσουν κυανοβακτήρια πριν σχηματίσουν μεγάλες αποικίες ή όταν τα νήματα είναι μικρά και να οδηγήσουν στις ρηχές λίμνες τη φυτοπλαγκτική κοινωνία στην φάση κυριαρχίας των χλωροφυκών. Αν ξεπεραστεί αυτό το στάδιο τότε η αύξηση των κυανοβακτηρίων σε μέγεθος τα καθιστά ακατάλληλη τροφή. Σημαντικό ρόλο σε όλα τα παραπάνω διαδραματίζει το μέγεθος των ζωοπλαγκτικών οργανισμών το οποίο ελέγχεται από τη θηρευτική πίεση των ψαριών τα οποία είναι γνωστό ότι αποτελούν τους ‘αρχιτέκτονες’ της ζωοπλαγκτικής κοινωνίας με την επιλεκτική απομάκρυνση-κατανάλωση των μεγαλόσωμων κλαδοκερωτών. Αν και η παρουσία βυθισμένων κυρίως μακρόφυτων φαίνεται να προσφέρει στους μεγαλόσωμους ζωοπλαγκτικούς οργανισμούς προστασία από τη θήρευση των ψαριών στις εύκρατες αβαθείς λίμνες, στη λίμνη Ισμαρίδα η μεγάλη κάλυψη από μακρόφυτα πιθανά δεν δίνει αυτή τη δυνατότητα.

Έτσι στη λίμνη Ισμαρίδα (τα μόνα διαθέσιμα δεδομένα προέρχονται από το παρόν πρόγραμμα παρακολούθησης για την περίοδο Αύγουστος 2010 – Αύγουστος 2011) παρά τη μεγάλη κάλυψη από μακρόφυτα στη ζωοπλαγκτική κοινωνία τα κλαδοκερωτά είτε σχεδόν απουσιάζουν (αφθονία ~ 1 άτομο στο λίτρο) είτε εκπροσωπούνται από παραλιακά είδη (*Alona rectangula*) που σχετίζονται με την μακροφυτική βλάστηση. Δεν σημειώθηκε ούτε καν η παρουσία ατόμων *Daphnia*, γεγονός που πιθανά υποδηλώνει έντονη θηρευτική πίεση από πλαγκτοφάγα ψάρια, καθώς είναι σχεδόν αδύνατη η παρουσία μεγαλόσωμων *Daphnia* σε λίμνες ακόμα και κάτω από μέτρια. Σημαντικό ρόλο στη λίμνη Ισμαρίδα πιθανά να παίζουν και οι διακυμάνσεις της αλατότητας του νερού λόγω της σύνδεσης με τη θάλασσα, καθώς σε αυξημένες τιμές αλατότητας τα περισσότερα είδη του γένους *Daphnia* τείνουν να απουσιάζουν. Απουσία ανταγωνισμού, από τα κατά πολύ ικανότερα διηθηματοφάγα κλαδοκερωτά, στη ζωοπλαγκτική κοινωνία κυριαρχούν τα τροχόζωα (% συμμετοχή στη συνολική αφθονία και

βιομάζα έως και 100%) κυρίως του γένους *Brachionus*. Τα τροχόζωα χάρη στους γρήγορους αναπαραγωγικούς ρυθμούς που έχουν, παρά τις απώλειες από τη θήρευση των νεαρών κυρίως ψαριών, επιτυγχάνουν υψηλές αφθονίες σε σύντομο χρονικό διάστημα, γεγονός που αντανακλάται στις έντονες διακυμάνσεις των πληθυσμών τους που καταγράφηκαν με την αφθονία να κυμαίνεται από 56 έως 7500 άτομα στο λίτρο. Οι οργανισμοί που κυριαρχούν βρίσκουν άφθονη διαθέσιμη τροφή καθώς καταναλώνουν βακτήρια και φυτοπλαγκτό $< 20 \mu\text{m}$ (νανοπλαγκτό) το οποίο κυριαρχεί για μεγάλο χρονικό διάστημα στη λίμνη Ισμαρίδα. Σε μεγάλο βαθμό η επιλογή τροφής γίνεται με βάση το μέγεθος και στο βαθμό που ένα μερίδιο τροφής μπορεί να περάσει το πρόσθιο άνοιγμα του σώματος θα καταναλωθεί. Έτσι εκτός από νανοπλαγκτό τα τροχόζωα (και συγκεκριμένα του γένους *Brachionus*) έχει βρεθεί να καταναλώνουν και κυανοβακτήρια όπως αυτά του γένους *Anabaena*. Ωστόσο οι πολύ μεγάλες συγκεντρώσεις φυτοπλαγκτού καθιστούν αδύνατη τη μείωση και τον έλεγχο της φυτοπλαγκτικής βιομάζας από την συγκεκριμένη ζωοπλαγκτική κοινωνία όπως αντανακλάται και στον λόγο βιομάζας άνθρακα ζωοπλαγκτού / φυτοπλαγκτού ο οποίος δεν ξεπέρασε στο πλαίσιο της παρούσας έρευνας το 0,28.

Η ζωοπλαγκτική κοινωνία όπως καταγράφηκε στη λίμνη Ισμαρίδα με την κυριαρχία των τροχόζωων και την απουσία μεγάλωσμων κλαδοκερωτών δείχνει ότι στο τροφικό πλέγμα της λίμνης το φυτοπλαγκτό δέχεται μικρή πίεση από τη βόσκηση του ζωοπλαγκτού.

Με βάση τη θεμελιώδη γνώση των βιοκοινοτήτων και του τροφικού πλέγματος των λιμνών η παγκόσμια τάση σήμερα είναι η βιώσιμη διαχείριση των λιμνών με σκοπό τη μείωση της βιομάζας του φυτοπλαγκτού, και τον έλεγχο των ανθίσεων. Προϋπόθεση αποτελεί φυσικά να υπάρχουν επαρκή και κατάλληλα δεδομένα χρονοσειρών ώστε η διαχείριση να στηρίζεται στην προβλεψιμότητα των φαινομένων άνθισης του φυτοπλαγκτού. Στη βάση αυτή η βιολογική μέθοδος της διαχείρισης στηρίζεται στη γνώση του τροφικού πλέγματος. Γενικά, για τη διαχείριση σε επίπεδο τροφικού πλέγματος έχουν διατυπωθεί δύο θεωρίες: Η πρώτη θεωρία, «έλεγχος από τη βάση προς την κορυφή» (bottom-up), ουσιαστικά αναφέρεται στην αναίρεση των αιτίων που οδήγησαν στον ευτροφισμό με τον περιορισμό των εισροών πλούσιων σε θρεπτικά, που είναι το πρώτο και βασικό βήμα. Η δεύτερη θεωρία, «έλεγχος από την κορυφή προς τη βάση» (top-down), αναφέρεται στον έλεγχο των ιχθυοκοινοτήτων ώστε να απελευθερωθεί το ζωοπλαγκτό από τη θηρευτική πίεση και να μπορέσουν να αναπτυχθούν μεγάλωσμοι άτομα που έχουν τη δυνατότητα να ελέγξουν τη φυτοπλαγκτική βιομάζα. Είναι γνωστό ότι όλα τα ψάρια στα πρώτα στάδια καταναλώνουν ζωοπλαγκτό, ενώ στη συνέχεια μπορεί να συνεχίσουν να καταναλώνουν ζωοπλαγκτό ή /και να αλλάξουν τροφικές συνήθειες. Η ιχθυοπανίδα της λίμνης Ισμαρίδας σύμφωνα με πληροφορίες από τους αλιείς του Αλιευτικού Αγροτικού Συνεταιρισμού Μαρώνειας περιλαμβάνει ζωοπλαγκτοφάγα ψάρια όπως είναι η πεταλούδα. Πρόκειται για ένα από τα πιο εισβολικά είδη του πλανήτη το οποίο έχει καταλάβει

το σύνολο των εσωτερικών υδάτων της Ελλάδας και ο ρόλος του στη διαμόρφωση του τροφικού πλέγματος των λιμνών θεωρείται καθοριστικός.

Στις εύτροφες ρηχές λίμνες, της εύκρατης ζώνης, ο βιοχειρισμός των τροφικών πλεγμάτων (από την κορυφή προς τη βάση) στηρίζεται στην υπόθεση των δυο εναλλακτικών καταστάσεων της λίμνης: αυτή της χαμηλής διαφάνειας του νερού και επικράτησης του φυτοπλαγκτού και αυτή της υψηλής διαφάνειας νερού και άφθονων βυθισμένων μακρόφυτων. Από την εμπειρία της εφαρμογής του βιοχειρισμού στις λίμνες αυτές η μεγαλύτερη επιτυχία παρατηρήθηκε εκεί που επιτεύχθηκε αύξηση της αφθονίας της *Daphnia* και των μακρόφυτων. Τα μακρόφυτα δρουν ανταγωνιστικά με το φυτοπλαγκτό για τα διαθέσιμα θρεπτικά και το φως και ταυτόχρονα προσφέρουν καταφύγιο στα μεγαλόσωμα κλαδοκερωτά από τη θήρευση των ψαριών. Επιπλέον τα μακρόφυτα σταθεροποιούν το ίζημα αποτρέποντας αναιώρησή του, που συνεπάγεται επαναδιάθεση θρεπτικών αλλά και μείωση της διαφάνειας. Στην αναιώρηση του ιζήματος συμβάλλουν και τα βενθοφάγα κυπρινοειδή.

Όμως, η υπόθεση των δυο εναλλακτικών καταστάσεων της λίμνης διαφοροποιείται στις Μεσογειακές λίμνες και τα πρότυπα εποχικότητας πλαγκτού αποκλίνουν από αυτά των βόρειων εύκρατων λιμνών. Καθώς δεν παρατηρείται περιορισμός αύξησης φυτοπλαγκτού και μακροφύτων το χειμώνα λόγω φωτός όπως ισχύει σε μεγαλύτερα γεωγραφικά πλάτη παρατηρούνται στον ετήσιο κύκλο πιο πολύπλοκες αλληλεπιδράσεις εντός και μεταξύ των βιοκοινοτήτων και εναλλαγή στις καταστάσεις επικράτησης φυτοπλαγκτού – μακροφύτων μέσα στο ίδιο έτος. Πολλοί μηχανισμοί λειτουργούν ταυτόχρονα και αλληλεπιδρούν για τη μία ή την άλλη κατάσταση ή και την αλληλοεπικάλυψη τους καθιστώντας πιο δύσκολη την περίπτωση αποκατάστασης στη διαχείριση της λίμνης.

Το βάθος της λίμνης είναι καθοριστικό για την επιβίωση και ανάπτυξη των βυθισμένων, επιπλέοντων και αναδυομένων μακροφύτων. Η μεταβολή της στάθμης νερού δημιουργούν ένα ιδιαίτερα μεταβαλλόμενο σύστημα στην Ισμαρίδα. Επειδή οι μεταβολές της στάθμης νερού στην Ισμαρίδα αλλάζουν ραγδαία μες το χρόνο τις βιοκοινότητες φυτοπλαγκτού και μακροφύτων είναι απαραίτητη να διερευνηθούν σε λεπτομέρεια αυτές οι βιοκοινότητες και οι μεταβολές τους για να μπορεί η μεταβολή της στάθμης νερού να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο για τη διαχείριση και αποκατάσταση της λίμνης. Η επίδραση της μεταβολής της στάθμης νερού και της σύνδεσης της λίμνης με τη θάλασσα στην τροφική και οικολογική κατάσταση της λίμνης δεν μπορεί με τα μέχρι σήμερα δεδομένα να χρησιμοποιηθεί ως εργαλείο πρόβλεψης. Είναι απαραίτητο να εξεταστούν οι οικολογικές διεργασίες των εναλλακτικών και ταυτόχρονων καταστάσεων κυριαρχίας φυτοπλαγκτού και μακρόφυτων στις οποίες η επίδραση της μεταβολής της στάθμης νερού και της σύνδεσης της λίμνης με τη θάλασσα είναι καθοριστική, για τουλάχιστον μια τριετία.

7. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Από τα παραπάνω αποτελέσματα της έρευνάς μας και ειδικότερα με βάση:

Α) τον πολύ μεγάλο λόγο επιφάνειας λεκάνης απορροής προς επιφάνεια της λίμνης που δείχνει την ισχυρή επίδραση των χρήσεων γης στη λίμνη

Β) τις μορφολογικές αλλοιώσεις που δείχνουν οι χρήσεις γης στη λεκάνη απορροής της λίμνης λόγω της υψηλής αγροτικής και αστικής χρήσης (κυρίαρχοι τύποι) και ως εκ τούτου της ισχυρής αρνητικής επίδρασης

Γ) τις υψηλές συγκεντρώσεις θρεπτικών και ιδιαίτερα του φωσφόρου που αποτελεί τον παράγοντα κλειδί στην υποβάθμιση της ποιότητας του νερού μέσω του ευτροφισμού, παράγοντας κλειδί για την οικολογική κατάσταση και αποκατάσταση της λίμνης που καταδεικνύει ότι οι πιέσεις στη λεκάνη απορροής δεν έχουν αναιρεθεί

Δ) τις έντονα μεταβαλλόμενες συνθήκες υδρομορφολογικών χαρακτηριστικών (μεταβολές βάθους, χρόνου παραμονής του νερού, φυσικών και χημικών χαρακτηριστικών του νερού με κύρια τη μεταβολή της αγωγιμότητας/αλατότητας)

Ε) τις έντονα μεταβαλλόμενες παραμέτρους του φυτοπλαγκτού στον χρόνο και στο χώρο (βιοποικιλότητα, σύνθεση ειδών και ομάδων, κυριαρχία, επίπεδα χλωροφύλλης και βιοόγκου) στο εύρος των τιμών που χαρακτηρίζουν την οικολογική κατάσταση της λίμνης τουλάχιστον ελλιπή

Ζ) την τεράστια κάλυψη της λίμνης από μακρόφυτα και την επιδρασή τους στην κοινωνία του φυτοπλαγκτού με πιο εμφανές χαρακτηριστικό την σημαντική συμμετοχή των ευγληνοφυκών όχι μόνο σε επίπεδα βιομάζας αλλά και στην ποικιλότητα ειδών

Η) τη μετάπτωση του φυτοπλαγκτού από λιμναίο σε θαλάσσιο μέσα στο ίδιο έτος και κατά συνέπεια την επίδραση όλων των βιοκοινοτήτων και του τροφικού πλέγματος

Θ) την απουσία κατάλληλου ζωοπλαγκτού (λόγω θηρευτικής πίεσης από τα ψάρια και αλατότητας) για την κατανάλωση των ανεπιθύμητων κυανοβακτηρίων με στόχο τη διαχείριση του πλαγκτικού τροφικού πλέγματος για την βελτίωση της κατάστασης της λίμνης

Ι) το γεγονός ότι η μεγάλη κάλυψη από μακρόφυτα δεν δίνει τη δυνατότητα καταφυγίου στο μεγαλόσωμο ζωοπλαγκτό, αν και αναμένεται με βάση τη διεθνή βιβλιογραφία (πρέπει να διερευνηθεί η θηρευτική πίεση από τα ψάρια και η επίδραση της αλατότητας)

Κ) την χαμηλή διαφάνεια νερού που μπορεί να έχει ισχυρή επίδραση στις σχέσεις φυτοπλαγκτού – μακρόφυτων ακόμη και μέσα από αλληλοπαθητικές σχέσεις οι οποίες όμως μπορούν να μεταβάλουν το κρίσιμο όριο φωσφόρου για τη μετάβαση από τη μία κατάσταση στην άλλη μέσα στο ίδιο έτος

Προκύπτει ότι η υφιστάμενη οικολογική κατάσταση της λίμνης θα είναι ελλιπής εάν δεν αναιρεθούν τα αίτια υποβάθμισης στη λεκάνη απορροής της και είναι πιθανό να βελτιωθεί μόνο παροδικά με στόχευση σε βελτίωση συγκεκριμένων χαρακτηριστικών μέσω οικολογικής αποκατάστασης. Με βάση τα αποτελέσματα της έρευνας αυτής και τις κατευθυντήριες γραμμές του Παγκόσμιου Οργανισμού Υγείας στην περίπτωση που τα κυρίαρχα κυανοβακτήρια στη λίμνη είναι τοξικά και εγκυμονούν κινδύνους (απαιτείται διερεύνηση της παρουσίας λειτουργικών γονιδίων τοξινών) η επικοινωνία της λίμνης με τη θάλασσα σε καθορισμένες περιόδους (όταν δεν επηρεάζονται αρνητικά επιθυμητοί οργανισμοί της λίμνης) μπορεί να συμβάλλει στην παροδική βελτίωση της ποιότητας. Εν τούτοις, λόγω του υπερεύτροφου χαρακτήρα της λίμνης μπορεί ακόμη και η προσωρινή βελτίωση να μην επιτευχθεί. Και αυτό όταν από την ανεπιθύμητη κυριαρχία γνωστών τοξικών κυανοβακτηρίων υπάρξει μετάπτωση σε κυριαρχία θαλάσσιων τοξικών δινομαστιγωτών, π.χ. *Prorocentrum minimum* που έχουν παρατηρηθεί άφθονα στα υφάλμυρα νερά της Βιστωνίδας και του Πόρτο Λάγος. Η λειτουργία του τροφικού πλέγματος δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί για βιοχειραγώγηση των κυανοβακτηρίων λόγω απουσίας μεγάλων κλαδοκερωτών και αδυναμίας επιλογής ειδών θαλάσσιου φυτοπλαγκτού, καθώς ταυτόχρονα συνεπικρατούν κυανοβακτήρια ενώ παρεμποδίζονται οι ζωοπλαγκτικοί οργανισμοί του γένους *Daphnia*. Αν και η μεταβλητότητα των χαρακτηριστικών της λίμνης είναι μεγάλη μέσα στο ίδιο έτος, η εκτίμηση της οικολογικής κατάστασης σε δύο διαδοχικά έτη με σημαντικές διαφορές στα λιμνολογικά χαρακτηριστικά, παρέμεινε ελλιπής, γεγονός που συνδέεται τόσο με τα ιδιαίτερα υδρομορφολογικά χαρακτηριστικά της λίμνης όσο και με τις πιέσεις στη λεκάνη απορροής που είναι ισχυρές και αντανακλώνονται στα υψηλά επίπεδα άμεσα διαθέσιμου για το φυτοπλαγκτό και τα μακρόφυτα φωσφόρου. Η υψηλή βιοποικιλότητα ειδών φυτοπλαγκτού μπορεί να υποστηρίξει κάτω από αυτές τις συνθήκες μια προσωρινή βελτίωση των χαρακτηριστικών της ποιότητας νερού της λίμνης.

8. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

8.1 ΕΛΛΗΝΙΚΗ

Ευρωπαϊκή Κοινότητα (2000). Οδηγία του Συμβουλίου της 12^{ης} Δεκεμβρίου περί θεσπίσεως πλαισίου κοινοτικής δράσης στο πεδίο της πολιτικής των υδάτων (2000/60/ΕΕ) ΕΕ αριθμ. L327, 22.12.2000, σ. 86.

Ζαρφτζιάν, Μ.Ε., 1989. Εποχικές διακυμάνσεις και χωρική κατανομή των πλαγκτικών ασπονδύλων της Λίμνης Βόλβης. :ιδασκτορική διατριβή, Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης.

8.2 ΔΙΕΘΝΗΣ

Andreopoulou ZS, Kokkinakis AK (2009) Technological changes affecting the fisheries in Ismarida lake using production models. 6th International Conference on the Management of Technological Changes, 03-05/09/2009 Alexandroupolis GREECE.

Botrell, H., A. Duncan, Z.M. Gliwicz, E. Grygierek, A. Herzig, A. Hillbright-Ilkowska, H. Kurasawa, P. Larsson and T. Weglenska, 1976. A review of some problems in zooplankton production studies. *Nordic Journal of Zoology* 24: 419-456

European Parliament, Council, 2000. Directive 2000/60/EC of the European Parliament and of the council of 23 October 2000 establishing a framework for community action in the field of water policy. *Official Journal of the European Communities* L327: 1-72.

Jeffrey, W. H. & G. F. Humphrey, 1975. New spectrophotometric equations for determining chlorophylls a, b, c₁ and c₂ in higher plants, algae and natural phytoplankton. *Biochem. Environ. Pflangen* 167: 191-194.

Michaloudi, E, 2005. Dry weights of the zooplankton of Lake Mikri Prespa (Macedonia, Greece). *Belgian Journal of Zoology* 135: 223–227

Moss, B., D. Stephen, C. Alvarez, E. Becares, W. van de Bund, S. E. Collings, E. van Donk, E. de Eyto, T. Feldmann, C. Fernández-Aláez, M. Fernández-Aláez, R. J. M. Franken, F. García-Criado, E. M. Gross, M. Gyllström, L. A. Hansson, K. Irvine, A. Järvalt, J. P. Jensen, E. Jeppesen, T. Kairesalo, R. Kornijów, T. Krause, H. Künnap, A. Laas, E. Lill, B. Lorens, H. Luup, M. R. Miracle, P. Nöges, T. Nöges, M. Nykänen, I. Ott, W. Peczula, E. T. H. M. Peeters, G. Phillips, S. Romo, V. Russell, J. Salujõe, M. Scheffer, K. Siewertsen, H. Smal, C. Tesch, H. Timm, L. Tuvikene, I. Tonno, T. Virro, E. Vicente & D. Wilson, 2003. The determination of ecological status in shallow lakes-a tested system (ECOFRAME) for implementation of the European Water Framework Directive. *Aquatic Conserv: Mar. Freshw. Ecosyst.* 13: 507-549.

Moustaka-Gouni M (1989) Temporal and spatial distribution of chlorophyll *a* in lake Volvi, Greece. Arch. Hydrobiol. Suppl. 82 (4) (Algol. Stud. 57): 475-485

Pavlikakis GE, Tsihrintzis VA (2003) Integrating humans in ecosystem management using multi-criteria decision making. Journal of the American Water Resources Association: 277-288

Pisinaras V, Petalas C, Tsihrintzis VA, Zagana E (2007) A groundwater flow model for water resources management in the Ismarida plain, North Greece. Environmental Modelling and Assessment 12: 75-89

Scheffer M (1998) Ecology of Shallow Lakes. Kluwer Academic Publishers, London. 85-302 pp.

Schröder B (1921) Phytoplankton aus Seen von Mazedonien. Sitzungsberichte / Akademie der Wissenschaften in Wien, Mathematisch-Naturwissenschaftliche Klasse Abteilung I 130: 137–176

Smith VH (2003) Eutrophication of Freshwater and Coastal Marine ecosystems. A global problem. Environmental Science and Pollution Research 10: 126–139

Sommer, U., Z. Gliwicz, W. Lampert & A. Duncan, 1986. The PEG-model of seasonal succession of planktonic events in fresh waters. Arch. Hydrobiol. 106: 433-471

Stanković S (1931) Sur les particularités limnologiques de lacs égéens. Verh. Intern. Verein. Limnol. 5: 158-196

Utermöhl, H., 1958. Zur Vervollkommnung der quantitativen Phytoplanktonmethodik. Mit. Int. Verein. Theor. Angew. Limnology 9: 1-38

Ηλεκτρονικές διευθύνσεις:

www.ornithologiki.gr

www.fd-nestosvistonis.gr/site